

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Hassiba BenBouali de Chlef

Faculté de Génie Civil et d'Architecture

Département de Génie Civil



THÈSE

Présentée pour l'obtention du diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité : Génie civil

Par

AMAR BENYAHIA

Thème :

**MISE AU POINT D'UN MORTIER AUTO-COMPACTANT Á
BASE DE POUDRE DE PERLITE NATURELLE POUR LA
RÉPARATION DES STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ**

Soutenue le 25/05/2017, devant le jury composé de :

Karim EZZIANE

Othmane BOUKENDEKJI

Belkacem MENADI

Youcef GHERNOUTI

Mohamed GHRICI

Mohamed SAID MANSOUR

Professeur à l'université de Chlef

Professeur à l'université de Médéa

Professeur à l'université de Blida

Professeur à l'université de Boumerdès

Professeur à l'université de Chlef

Maitre de conférences (B) à l'université de Chlef

Président

Examineur

Examineur

Examineur

Rapporteur

Co-Rapporteur

*D*édicace

J'ai l'honneur de dédier ce modeste travail:

À l'âme du prophète

Mohamed, que dieu le bénit, qui nous a éclairé la voie du bonheur.

À la mémoire de mon cher père « Cherqui »

À ma chère mère « Houria »

Qui est la joie de ma vie et qui me procure tant de soutien, d'amour et d'affection; ma moindre réussite est le fruit de leur sacrifice, dévouement et persévérance; je leurs dédie ce travail en signe d'une sincère reconnaissance et d'une gratitude éternelle.

À ma chère femme

Pour ses aides précieuses, son encouragement et sa patience, à qui je dois offrir ma réussite, qu'il trouve ici l'expression de mon affection et une récompense de ses sacrifices.

A mes chères frères et sœurs

Je vous aime de tout mon cœur

Je vous souhaite une vie pleine de joie, de bonheur et de réussite dans vos études et votre vie. En témoignage de mon amour, je vous souhaite la bonne santé.

À tous mes fidèles amis pour leur aide et leur encouragement.

À tous ceux qui ont contribué à ma formation

À tous ceux qui me sont chers

Que ce travail soit l'expression de ma vive gratitude et de mon profond attachement



Remerciements

Le présent travail de recherche a été effectué de Janvier 2013 à Novembre 2016 au sein du laboratoire de géomatériaux de l'université de Hassiba Ben Bouali de Chlef.

Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de thèse Monsieur GHRICI Mohamed, Professeur à l'Université de Chlef, pour avoir accepté de diriger cette thèse et dont l'aide précieuse m'a été indispensable sur le plan scientifique. Je tiens également à le remercier pour la confiance et la sympathie qu'il m'a témoignées au cours de ces quatre années de thèse.

J'ai eu le plaisir de travailler avec mon co-encadrant de la thèse, Dr. SAID MANSOUR Mohamed, Maître de Conférences à l'Université de Chlef. Ce fut non seulement très utile pour assurer la continuité des travaux mais également très agréable en raison de leur disponibilité et de leur patience.

Je voudrai également adresser mes plus sincères remerciements à, Monsieur EZZIANE Karim, Professeur à l'Université de Chlef, de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de soutenance.

Je désire très sincèrement remercier les membres de jury Monsieur BOUKENDAKDJI Othman, Professeur à l'Université de Médéa, Monsieur MENDAI Belkacem, Professeur à l'Université de Blida, et Monsieur GHERNAOUT Youcef, Professeur à l'Université de Boumerdes, de m'avoir fait l'honneur d'accepter de juger le travail de ma thèse de doctorat, malgré leurs multiples responsabilités et par leurs remarques et conseils qui seront utiles pour la suite de mon parcours académique.

Je remercie énormément, Monsieur BEN AHMED Mehdi Directeur de TRANS-CANNAL d'Oued Fodda pour m'avoir octroyé la convention de stage, sans oublier le personnel du laboratoire.

Enfin, je souhaiterais remercier les membres du Laboratoire Géomatériaux de l'université de Chlef et les doctorants que j'ai eu la chance de côtoyer pendant ces quatre années.

ملخص

يرتكز عمل الاطروحة على استغلال المواد الإسمنتية التكميلية مثل مسحوق البيرلايت الطبيعي و استخدامه في صناعة ميلاط ذاتي الدمك المدعم بالألياف (MAPF) الذي يمكن استخدامه في تصليح الهياكل الخرسانية المحلية. لهذا الغرض تم استبدال الإسمنت بنسب 10٪، 20٪ و 30٪ من مسحوق البيرلايت لتحضير ثلاث خلطات من هذا النوع من الميلاط. لقد تمت مقارنة أداء تلك الخلطات مع خلطة ميلاط مرجعي لا يحتوي إلا على الإسمنت البورتلاندي. كل الخلطات المحضرة تحتوي على 788 كغ/م³ من الرابط 0.35 من نسبة الماء/الرابط و 0.03٪ من ألياف البوليبيروبيلان. تمت دراسة تأثير مسحوق البيرلايت على أداء خلطات ميلاط الدمك تجريبيا في الحالة الطازجة (النشر، زمن التدفق، الكثافة الرطبة و مدة الأخذ) و الصلبة (الكثافة والجافة معامل التنقل الحراري، مقاومة الانضغاط و والشد معامل يونغ، الانكماش امتصاص الماء و الالتصاق بواسطة تجربة القص المائل Slant shear). إضافة الى ذلك تم تقييم تأثير ثلاث بيئات للنمو (cure) مماثلة لتلك التي نواجهها عادة في الميدان على مدى التوافق (Compatibilité) بين خلطات ميلاط الدمك والخرسانة المراد إصلاحها و ذلك عن طريق تجربة الانحناء بأربع نقاط. وقد أظهرت نتائج التجربة بأنه من الممكن إنتاج ميلاط الدمك لتصليح الخرسانة من الصنف R4-EN 1504، التي تحتوي على 10٪، 20٪ و 30٪ من مسحوق البيرلايت الطبيعي كبديل للإسمنت. بالإضافة إلى ذلك أظهرت نتائج التوافق أن خلطات ميلاط الدمك المحضرة يمكن تطبيقها بنجاح على طبقات لا يزيد سمكها عن 1 سم، مع الأخذ بعين الاعتبار الظروف الميدانية المحتملة.

كلمات مفتاحية: ميلاط ذاتي الدمك المدعم بالألياف، السيولة، الخواص الميكانيكية، مسحوق البيرلايت، القص المائل، التوافق.

Résumé

Notre travail de thèse porte sur l'exploitation des adjuvants minéraux tels que la poudre de perlite naturelle et son utilisation dans la formulation des mortiers auto-plaçants renforcés de fibres (MAPF_s), pouvant être utilisés dans la réparation des structures locales en béton. A cet effet, trois mélanges de mortier comprenant 10%, 20% et 30% de poudre de perlite en tant que remplacements de ciment ont été préparés. Les performances de ces mortiers sont comparées à un mortier témoin (MAPF₀) contenant uniquement du ciment Portland. Tous ces mélanges de mortier ont été préparés avec une teneur totale en liant de 788 kg/m³, un rapport eau/liant de 0,35 et une fraction volumique de fibres de polypropylène de 0,03%. L'influence de la poudre de perlite sur les performances des MAPF_s a été étudiée expérimentalement à l'état frais (étalement, temps d'écoulement, temps de prise et la densité fraîche) et à l'état durci (densité sèche, le coefficient de conductivité thermique, la résistance à la compression, la résistance à la flexion, le module de Young dynamic, le retrait, l'absorption en eau et l'adhérence par l'essai de cisaillement oblique). L'influence de trois conditions de cure, similaires à celles habituellement rencontrées sur le terrain a été évalué sur la compatibilité entre les mortiers de réparation élaborés et le substrat de béton par l'essai de flexion quatre points. Les résultats ont montré qu'il est possible de produire des mortiers de réparation de classe R4 (EN 1504-3), contenant 10%, 20% et 30% de poudre de perlite naturelle en remplacement du ciment. En outre, les résultats de compatibilité ont montré que ces mortiers peuvent être appliqués avec succès avec des couches ne dépassant pas 1 cm d'épaisseur, en tenant compte des conditions probables sur le terrain.

Mots clés Mortier auto-plaçant renforcé de fibres (MAPF_s); Fluidité; Propriétés mécaniques; Poudre de perlite; Cisaillement oblique; Compatibilité.

Abstract

Our thesis work focuses on the exploitation of the supplementary cementitious materials such as natural perlite powder and its use in the formulation of fiber reinforced self-consolidating repair mortars (FR-SCRM_s), which can be used in the repair of local concrete structures. For this purpose, three mortar mixtures containing 10%, 20% and 30% perlite powder as cement replacements were prepared. The performance of these mortars is compared to control mortar (MAPF0) containing only Portland cement. All these mortar mixtures were prepared with a total binder content of 788 kg / m³, a water / binder ratio of 0.35 and a volume fraction of polypropylene fibers of 0.03%. The influence of perlite powder on the performance of FR-SCRM_s has been studied experimentally in the fresh state (slump flow, flow time, setting time and fresh density) and in the hardened state (dry density, thermal conductivity coefficient, compressive strength, flexural strength, Young dynamic modulus, shrinkage, water absorption and adhesion by slant shear test). The influence of three curing conditions, similar from those normally encountered in the field was evaluated on the compatibility between repair materials and substrate, under flexural strength test by using four-point's loading beam test method. The results showed that it is possible to produce repair mortars class R4 (EN 1504-3), containing 10%, 20% and 30% natural perlite powder as a cement replacement. Furthermore, compatibility results have shown that these mortars can be applied successfully with layers not exceeding 1 cm in thickness, taking into account the probable conditions in the field.

Keywords: Fiber reinforced self-consolidating repair mortar (FR-SCRM); Flowability; Mechanical properties; Perlite powder; Slant shear; Compatibility.

Table des matières

Dédicace.....	i
Remerciements.....	ii
ملخص.....	iii
Résumé.....	iv
Abstract.....	v
Table des matières.....	vi
Liste des figures.....	x
Liste des tableaux.....	xiv
Liste des abréviations.....	xv

Introduction générale.....	01
-----------------------------------	-----------

Chapitre 01

Pathologies des structures en béton armé et techniques de réparation

1.1 Introduction.....	06
1.2 Pathologies d'origine chimique.....	06
1.2.1 Carbonatation et corrosion des aciers.....	06
1.2.2 Réactions sulfatiques.....	07
1.2.3 Alkali-réaction.....	08
1.2.4 Gel dégel.....	09
1.2.5 Retrait.....	09
1.3 Pathologies d'origine mécanique.....	10
1.3.1 Choc.....	10
1.3.2 Incendie.....	11
1.4 Les principales étapes d'un diagnostic.....	12
1.5 Les principes étapes de remise en état du béton selon la norme EN 1504.....	13
1.6 Principales étapes de réparation des structures en béton armé.....	15
1.6.1 Enlèvement du béton dégradé.....	15
1.6.2 Nettoyage des surfaces.....	17
1.6.3 Humidification de la surface.....	17
1.6.4 Traitement ou remplacement des armatures existantes.....	17
1.6.5 Mise en œuvre du matériau de réparation.....	18
1.7 Les techniques de réparation du béton par le mortier.....	18
1.7.1 Restauration du béton par application d'un mortier (Principe 3)... ..	18
1.7.1.1 Application du mortier à la main (méthode 3.1).....	18
1.7.1.2 Par mortier coulé dans un coffrage (méthode 3.2).....	19
1.7.1.3 Par mortier projeté (méthode 3.3).....	20
1.7.2 Renforcement structural (Principe 4).....	21
1.7.3 Préservation ou restauration de la passivité (Principe 7).....	22
1.8 Les mortiers de réparation du béton.....	22
1.9 Les mortiers de réparation selon la norme EN 1504.....	25
1.10 Conclusion.....	27

Chapitre 02

Mortiers autoplaçants de réparation du béton

2.1 Introduction.....	29
2.2 Mortier autoplaçant MAP.....	29
2.3 Composition spécifique des MAP.....	30
2.3.1 Volume de pâte élevé.....	30
2.3.2 Quantité importante de fines.....	31
2.3.3 Fort dosage de superplastifiant.....	31
2.3.4 Utilisation éventuelle d'agent de viscosité.....	31
2.4. Les principaux constituants des MAP.....	31
2.4.1 Ciment.....	31
2.4.2 Sable.....	32
2.4.3 Fines.....	32
2.4.3.1 Additions de type I (Les fillers calcaires NF P 18-508).....	33
2.4.3.2 Additions de type II (Les pouzzolanes ASTM 618-94).....	34
2.4.4 Eau de malaxage.....	41
2.4.5 Superplastifiant.....	41
2.5 Les fibres et les MAP de réparation.....	43
2.5.1 Définition, propriétés, rôles et avantages des fibres.....	43
2.5.2 Mortier autoplaçant fibré.....	47
2.6 Utilisation des BAP dans les travaux de réparations.....	47
2.7 Aperçu sur la rhéologie des mortiers	48
2.8 Caractérisation et formulation des mortiers autoplaçants MAPF.....	49
2.8.1 Méthode d'optimisation de mortier (Méthode japonaise).....	49
2.8.2 Spécifications et lignes directrices pour le mortier autoplaçant EFNARC.....	51
2.8.3 Méthode de Nepomuceno.....	52
2.9 Conclusion.....	54

Chapitre 03

Compatibilité des mortiers autoplaçants de réparation

3.1 Introduction.....	56
3.2 Compatibilité entre les matériaux de réparation et le substrat de béton.....	56
3.3 Facteurs influencent sur la compatibilité des matériaux de réparation	58
3.3.1 Propriétés à l'état frais.....	58
3.3.2 Propriétés mécaniques.....	61
3.3.2.1 Résistance en compression.....	61
3.3.2.2 Résistance en traction.....	66
3.3.2.3 Module d'élasticité.....	66
3.3.2.4 Adhésion mécanique.....	69
3.3.2.5 Adhésion spécifique.....	70
3.3.2.6 Différents types de tests utilisés pour quantifier l'adhérence..	70
3.3.3 Compatibilité déformationnelle.....	76
3.3.3.1 Le retrait.....	76
3.3.3.2 Déformation thermique.....	78
3.3.3.3 Propriétés de transport.....	78

3.4 Conclusion.....	79
----------------------------	-----------

Chapitre 04

Caractérisation des matériaux et méthodologies

4.1 Introduction.....	82
4.2 Programme expérimentale.....	82
4.3 Proportions des mélanges de mortiers et du béton de substrat.....	85
4.3.1 Mortiers de réparation.....	85
4.3.2 Béton de substrat.....	86
4.3.3 Séquences de malaxage des mélanges de mortiers.....	86
4.4 Méthodes d'essais sur le béton et mortiers.....	87
4.4.1 Essai d'étalement des mortiers au mini cône.....	87
4.4.2 Temps d'écoulement.....	88
4.4.3 Densité apparente des mortiers frais.....	89
4.4.4 Temps de prise des mortiers.....	90
4.4.5 Consistance du béton de substrat.....	90
4.4.6 Densité apparente des mortiers durci.....	91
4.4.7 Conductivité thermique des mortiers.....	92
4.4.8 Essai de compression et de flexion des mortiers.....	92
4.4.9 Essai de compression et de traction du béton de substrat.....	93
4.4.10 Module dynamique d'élasticité ED.....	94
4.4.11 Variations dimensionnelles des mortiers.....	95
4.4.12 Retrait du béton de substrat.....	96
4.5 Propriétés de durabilité (absorption d'eau par capillarité).....	96
4.6 Adhérence par essai de cisaillement oblique.....	97
4.7 Compatibilité des mortiers de réparation (essai de flexion 4 points)....	99
4.8 Conclusion.....	102

Chapitre 05

Présentation et discussions des résultats

5.1 Introduction.....	104
5.2 Propriétés à l'état frais et à l'état durci du béton de substrat.....	104
5.3 Effets de la poudre de perlite sur les propriétés rhéologiques et fraîches des mortiers de réparation étudiés (MAPFs).....	104
5.3.1 Essai d'étalement au mini-cône (Mini-slump flow).....	106
5.3.2 Temps d'écoulement (Mini V-funnel flow time) des MAPFs.....	107
5.3.3 Densité apparente fraîche.....	107
5.3.4 Temps de prise.....	109
5.4 Effets de la poudre de perlite sur les propriétés à l'état durci des mortiers de réparation étudiés (MAPFs).....	110
5.4.1 Densité apparente sèche.....	110
5.4.2 Coefficient de conductivité thermique.....	111
5.4.3 Résistances mécaniques.....	113
5.4.4 Module d'élasticité dynamique (ED).....	117
5.4.5 Variations dimensionnelles.....	120
5.5 Propriétés de durabilité (absorption d'eau par capillarité).....	121
5.6 Adhérence par essai de cisaillement oblique.....	123

5.7 Effet des différences dans les méthodes de cure (compatibilité) sur l'épaisseur de la couche de réparation.....	127
5.7.1 Poutre réparée par une couche de 1cm d'épaisseur de mortier	127
5.7.2 Poutre réparée par une couche de 2cm d'épaisseur de mortier	131
5.8 Coût de production des mortiers de réparation.....	135
5.9 Conclusion.....	136
Conclusions générales et recommandations.....	139
Références bibliographiques.....	143
Annexe.....	163

Liste des Figures

Figure 1.1	Processus de corrosion des armatures.....	07
Figure 1.2	Elément en béton carbonaté.....	07
Figure 1.3	Structure en béton armé sérieusement altérée par les sulfates.....	08
Figure 1.4	Effet de l'alcali-réaction sur une structure en béton armé.....	08
Figure 1.5	Altération d'un ouvrage par cycle gel/dégel.....	09
Figure 1.6	Façade altérée par le retrait.....	10
Figure 1.7	Ouvrage en béton altéré sous l'effet des chocs.....	10
Figure 1.8	Structure en béton armé dégradée par le feu.....	11
Figure 1.9	Les étapes clé du diagnostic d'une structure en béton.....	12
Figure 1.10	Principaux appareillages du diagnostic du béton.....	13
Figure 1.11	Enlèvement du béton selon la norme EN1504-10.....	16
Figure 1.12	Principe de remplacement de ferrailage endommagé	17
Figure 1.13	Technique de réparation du béton par le mortier.....	19
Figure 1.14	Renforcement des structures par le mortier projeté	20
Figure 1.15	Adhérence par action mécanique due à l'incrustation des fines dans les pores du support.....	21
Figure 1.16	Ajout de mortier ou de béton NF N1504-3.....	21
Figure 1.17	Augmentation de l'enrobage de l'armature par projection de mortier.....	22
Figure 1.18	Mortier utilisé en remplacement du béton pollué ou carbonaté.....	22
Figure 1.19	Organigramme illustrant le processus de sélection pour un matériau de réparation.....	23
Figure 1.20	Réparation structurale et non structurale du béton	25
Figure 2.1	Quelques applications de mortier autoplaçant de réparation MAP... ..	29
Figure 2.2	Notion d'excès de pâte.....	30
Figure 2.3	Principaux constituants du ciment.....	32
Figure 2.4	Illustration de l'effet filler.....	33
Figure 2.5	Production de la perlite expansée.....	38
Figure 2.6	Pourcentage de la production de perlite liée à la production mondiale totale en 2015.....	39
Figure 2.7	Dispersion des grains de ciment par l'ajout du polymère.....	41
Figure 2.8	Mode d'action d'une molécule de superplastifiant.....	42
Figure 2.8	Effet des superplastifiants sur la rhéologie des BAP.....	42
Figure 2.10	Différents types de fibres.....	44
Figure 2.11	Fibre de polypropylène.....	45
Figure 2.12	Photo MEB montrant le pontage des fissures par les fibres de polypropylène.....	45
Figure 2.13	Schématisation du comportement d'un bloc de béton soumis à une traction directe.....	46
Figure 2.14	Intérêt de l'utilisation des fibres dans la matrice cimentaire.....	46
Figure 2.15	Bétons différents qui présente l'un des paramètres de Bingham identique.....	48
Figure 2.16	Dimensions du cône et de l'entonnoir à mortier.....	50
Figure 2.17	Relation entre les termes Γ_m et R_m et pour différents dosages en superplastifiant (S_p/P) et différents rapports volumiques eau sur poudre (V_w/V_p).....	51

Figure 2.18 Changements dans les paramètres de maniabilité avec l'augmentation de V_w / V_p , en gardant sp/p % constant.....	53
Figure 2.19 Changements dans les paramètres d'ouvrabilité avec l'augmentation de SP/P , en gardant V_w/V_p constant.....	53
Figure 2.20 Intervalle admissible de variation pour les propriétés fraîches de mortiers.....	54
Figure 3.1 Modèle idéalisé d'un système de réparation.....	56
Figure 3.2 Facteurs affectant la compatibilité dans un système de réparation	57
Figure 3.3 Causes des dégradations des réparations.....	58
Figure 3.4 Seuil de cisaillement par rapport au temps de la pâte de ciment avec. différents différentes additions minérales.....	60
Figure 3.5 Viscosité plastique par rapport au temps de la pâte de ciment avec différentes additions minérales.....	60
Figure 3.6 Besoin en SP pour chaque mélange.....	61
Figure 3.7 Développement des résistances des mélanges de mortiers.....	62
Figure 3.8 Evolution de la résistance en compression des mortiers en fonction de l'âge.....	63
Figure 3.9 Influence du remplacement du ciment par le déchet de perlite sur le développement des résistances à la compression des mortiers.....	64
Figure 3.10 Effet de l'agrégat de perlite sur la résistance en compression des mélanges.....	64
Figure 3.11 Influence du dosage en micro-fibres sur la résistance en compression.....	65
Figure 3.12 Effet de l'incompatibilité du module de Young.....	66
Figure 3.13 État des contraintes sur des sections réparées soumises à des chargements de compression et flexion pour des matériaux homogènes, isotropes et linéaires (adhérence parfaite).....	67
Figure 3.14 Effet de l'agrégat de perlite expansé sur le module d'élasticité...	68
Figure 3.15 Mécanisme d'adhérence.....	69
Figure 3.16 Différentes techniques utilisées pour caractériser l'adhérence des mortiers.....	71
Figure 3.17 Appareil pull off.....	71
Figure 3.18 Principe général de l'essai d'arrachement (pull off).....	71
Figure 3.19 Modes de ruptures possible du composite béton /mortier de réparation, par l'essai d'arrachement (Pull off).....	72
Figure 3.20 Adhérence mesurée avec les méthodes de la figure 3.7 pour une faible rugosité de surface du support.....	72
Figure 3.21 Méthodes de traitement de surfaces utilisées.....	73
Figure 3.22 Cisaillement oblique (slant shear).....	74
Figure 3.23 Essai d'adhérence par flexion 4 points.....	74
Figure 3.24 Résistance d'adhérence par flexion.....	74
Figure 3.25 Mesure de la déflexion de la poutre.....	75
Figure 3.26 Evaluation de la compatibilité par essai de chargement par 4 points.....	75
Figure 3.27 Effet du retrait de séchage et du fluage en traction dans les réparations en béton.....	77
Figure 3.28 Effet de l'agrégat de perlite expansé sur l'absorption d'eau.....	79

Figure 4.1 Photographie de la perlite.....	82
Figure 4.2 Spectre de diffraction des rayons "X" de la poudre de perlite naturelle de Hammam Boughrara.....	83
Figure 4.3 Granulométrie des granulats fins et grossiers.....	84
Figure 4.4 Séquences de malaxage des mortiers de réparation MAPFs.....	87
Figure 4.5 Essai d'étalement des mortiers de réparation au mini-cône.....	88
Figure 4.6 Temps d'écoulement des mortiers de réparation mesuré au mini V-funnel.....	89
Figure 4.7 Photo du pH mètre utilisé.....	89
Figure 4.8 Appareil de Vicat pour la mesure du temps de prise des mortiers	90
Figure 4.8 Cône d'Abrams pour la mesure de l'affaissement du béton.....	91
Figure 4.10 Essais mécaniques effectués sur les mortiers.....	93
Figure 4.11 Echantillons de substrat.....	93
Figure 4.12 Essai de traction par fendage	93
Figure 4.13 Essai du module d'élasticité dynamique ED des mortiers.....	95
Figure 4.14 Rétractomètre pour la mesure du retrait des mortiers.....	95
Figure 4.15 Essai d'absorption en eau des ortiers.....	97
Figure 4.16 Préparation des composites MAP-Substrat et essai d'adhésion (slant shear test).....	99
Figure 4.17 Echantillon prismatique évidé servant de substrat.....	100
Figure 4.18 Traitement de surface des substrat	101
Figure 4.19 Différents milieux de cure des composites (MAPFs-Béton de substrat)	101
Figure 4.20 Composites (MAPF/Béton) sous essai de flexion 3 points.....	102
Figure 5.1 Etalement des mortiers au mini cône.....	106
Figure 5.2 Temps d'écoulement des MAPFs au mini V-funnel.....	107
Figure 5.3 Densité apparente des mortiers frais.....	108
Figure 5.4 Corrélation entre le temps d'écoulement et la densité apparente des mortiers frais.....	108
Figure 5.5 Variation du temps de prise pour les mélanges de mortiers MAPFs.	109
Figure 5.6 Evolution de la densité apparente des mortiers durci.....	111
Figure 5.7 Evolution du coefficient de conductivité thermique des MAPFs.....	112
Figure 5.8 Corrélation à l'âge de 28 jours entre le coefficient de conductivité thermique et la densité apparente des MAPFs.....	112
Figure 5.9 Evolution des résistances en compressions des MAPFs en fonction de l'âge.....	114
Figure 5.10 Evolution des résistances en flexion des MAPFs en fonction de l'âge.....	116
Figure 5.11 Corrélation à tous les âges (2, 7, 28 et 91 jours) entre la résistance en compression et la résistance en flexion des mortiers étudiés.....	116
Figure 5.12 Corrélation à l'âge de 28 jours entre la résistance en compression et la densité des mortiers durcis.....	117
Figure 5.13 Evolution du module de Young des MAPFs en fonction de l'âge	118
Figure 5.14 Corrélation à l'âge de 28 jours entre le module de Yong dynamique et la densité apparente des MAPFs.....	119
Figure 5.15 Corrélation à tous les âges (2, 7, 28 et 91 jours) entre la résistance en compression et le module de Young dynamique des MAPFs.....	119

Figure 5.16 Evolution du retrait de séchage des MAPFs à l'âge de 28 jours	121
Figure 5.17 Influence de la poudre de perlite sur l'absorption en eau des MAPFs.	121
Figure 5.18 Evolution de l'absorption en eau des mortiers, après 24 heures.....	122
Figure 5.19 Corrélation entre l'absorption en eau et la résistance en compression des MAPFs à l'âge de 28 jours.....	122
Figure 5.20 Corrélation entre l'adhérence et la résistance en compression des MAPFs à l'âge de 28 jours.....	127
Figure 5.21 Mesurage des ouvertures de fissures des composites (épaisseurs de la couche de réparation : 1cm).....	130
Figure 5.22 Evolution de la contrainte de flexion. des composites (épaisseur 1cm) en fonction du milieu de cure.....	130
Figure 5.23 Mesurage des ouvertures de fissures des composites (épaisseur de la couche de réparation: 2cm).....	133
Figure 5.24 Evolution de la contrainte de flexion. des composites (épaisseur 2cm) en fonction du milieu de cure.....	134
Figure 5.25 Gain de production lié a l'utilisation de la poudre de perlite en remplacement du ciment.....	135

Liste des Tableaux

Tableau 1.1 Les principales réactions physico-chimiques dans le béton en fonction de la température.....	11
Tableau 1.2 La série de normes européennes EN 1504.....	14
Tableau 1.3 Principes et méthodes de réparation et de protection par le mortier selon la norme EN 1504-9.....	15
Tableau 1.4 Méthodes et matériel utilisés pour enlever le béton altéré.....	23
Tableau 1.5 Classification des mortiers	24
Tableau 1.6 Propriétés des matériaux de réparation de béton typiques.....	26
Tableau 1.7 Caractéristiques de performances des produits de réparation structurale et non structurale.....	27
Tableau 2.1 Compositions chimiques d'une sélection de perlites typiques commercialisées.....	38
Tableau 2.2 Principaux produits de substitution a la perlite et avantages comparés.....	40
Tableau 2.3 Synthétique des principales utilisations de la perlite	40
Tableau 2.4 Principales caractéristiques physico-mécaniques des fibres couramment utilisées pour le renforcement du béton.....	45
Tableau 2.5 Application des BAP de réparation fibrés dans les structures.....	47
Tableau 3.1 Conditions générale pour une compatibilité mécanique et dimensionnelle.....	58
Tableau 3.2 Effet de la perlite sur l'ouvrabilité et le temps de prise des mortiers et bétons.....	59
Tableau 3.3 Résultats de l'essai d'arrachement.....	73
Tableau 4.1 Propriétés physiques et chimiques du ciment et de la poudre de perlite.....	83
Tableau 4.2 Propriétés physiques des granulats.....	84
Tableau 4.3 Caractéristiques générales des fibres polypropylène.....	85
Tableau 4.4 Proportions des mélanges des mortiers	85
Tableau 4.5 Proportions du mélange du béton de substrat.....	86
Tableau 4.6 Valeurs de l'affaissement des bétons recommandés pour divers types de construction.....	91
Tableau 5.1 Principales caractéristiques du béton de substrat.....	104
Tableau 5.2 Propriétés des MAPFS à l'état frais.....	105
Tableau 5.3 Résultats des essais de résistance au cisaillement oblique.....	125
Tableau 5.4 Résultats de compatibilité des poutres composites (épaisseur de la couche de réparation de 1cm).....	126
Tableau 5.5 Résultats de compatibilité des poutres composites (épaisseur de la couche de réparation de 2cm).....	129
Tableau 5.6 Résultats de compatibilité des poutres composites (épaisseur de la couche de réparation de 2cm).....	132

Liste des abréviations

CC	Mortier à base de liant hydraulique
PCC	Mortier à base de liant hydraulique modifié par les polymères
BAP(SCC)	Béton autoplaçant
BAPF (FR-SCC)	Béton autoplaçant fibré
MAP (SCM)	Mortier autoplaçant
MAPF (FR-SCM)	Mortier autoplaçant fibré
M0	Mortier ordinaire
PER	Perlite
FPP	Fibre de polypropylène
C	Ciment
S	Sable
G	Gravier
E	Eau
E/L	Rapport massique eau/liant
SP	Superplastifiant
Γ_m	Etalement relatif
R_m	Vitesse relative d'écoulement
V_w/V_p	Rapport du volume de l'eau sur le volume du liant
V_p/V_s	Rapport du volume du liant sur le volume de sable
S_p/P	Rapport du volume de superplastifiant sur le volume du liant
ITZ	Zone de transition inter-faciale
A	Affaissement
ρ_m	Densité apparente
λ	Coefficient de conductivité thermique
R_f	Résistance en flexion
R_c	Résistance en compression
E_d	Module dynamique d'élasticité
τ	Contrainte d'adhésion par essai de cisaillement oblique (Slant Shear Test)
σ_a	Contrainte d'adhérence par essai de flexion 4 points
C	Absorption en eau
σ_t	Contrainte de traction

INTRODUCTION GENERALE

Le béton a longtemps eu la réputation de ne pas avoir besoin d'entretien ni de protection. Or, on s'aperçoit qu'un bon nombre de constructions en béton, édifiées même récemment se concluent par un échec prématuré et nécessitent des réparations. En effet, ces réparations lorsqu'elles ne sont pas correctement exécutées, peuvent subir le même sort et même devenir préjudiciables au béton de substrat.

A titre d'exemple l'état des lieux des réparations réalisées par le réseau Conception–Repair-Network ([ConRepNet 2004](#)) sur des ouvrages d'art en Europe révèle que la quasi-totalité des ouvrages réparés nécessitent un renouvellement des réparations ([Figure 0-1](#)).

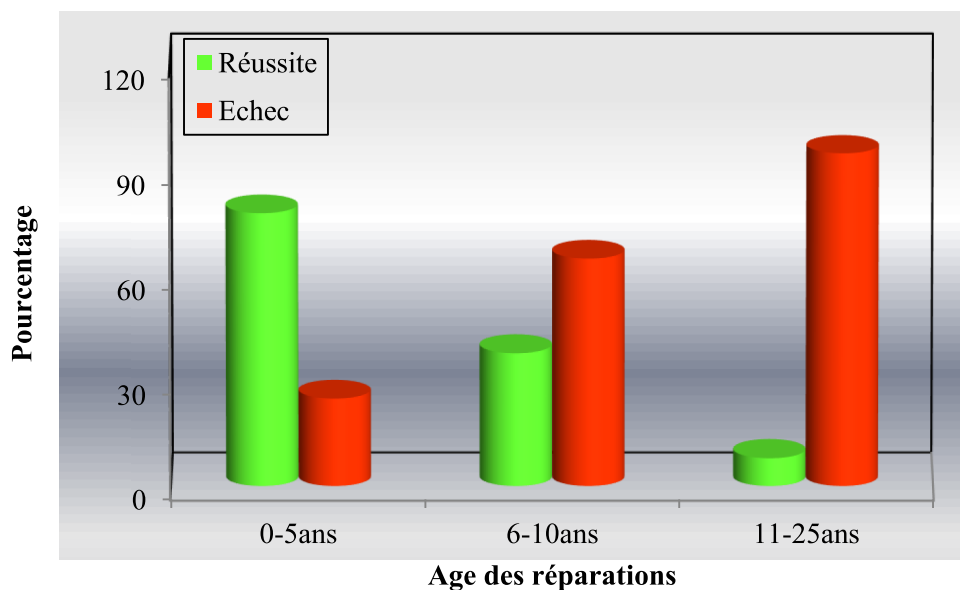


Figure 0.1 –Taux de réussite et/ou d'échec des réparations des ouvrages d'art en fonction de l'âge.

Les causes qui seraient à l'origine des pathologies pouvant réduire la durée de vie utile d'une structure réparée en béton sont diverses, tout comme les techniques de réparation. Généralement, issue d'une incompatibilité entre le matériau de réparation et le support du béton, d'une faible résistance de ces réparations vis-à-vis de certaines pénétrations d'agents agressifs voire leur l'exposition aux températures élevées, etc. ([Benjeddou et al. 2007](#), [Jummat et al. 2006](#)).

Pour aider les maitres d'ouvrages et les professionnels de la construction à réaliser avec succès les travaux de réparation et de protection de tout type de structures en béton, il faut avant tout faire un choix judicieux des matériaux et des techniques de réparation en fonction des conditions de service et d'application, tout en respectant les exigences de la norme européenne EN1504 « [Produits et systèmes pour la réparation et la protection des structures en](#)

béton-Définitions, exigences, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité » (Norme EN 1504, 2005).

Parmi lesquelles figure la réparation par mortiers, méthode ciblée dans notre travail de thèse. En effet, c'est une méthode simple à réaliser et contribue à contrecarrer le développement des pathologies à plusieurs stades de leur évolution. Cependant, la pérennité des réparations par les mortiers nécessite un bon diagnostic avant les réparations ainsi qu'un personnel qualifié.

Ces dernières années, on assiste à l'avènement d'un mortier assez complexe qui a résolu en grande partie les problèmes liés à la réparation des ouvrages en béton, échoués par les méthodes classiques. Ce mortier contient les liants hydrauliques adjutants avec une multitude d'additions minérales voire des polymères, assurant ainsi l'adhérence entre le béton sain (substrat) et le mortier de réparation (Goto 2006). Il se distingue par rapport aux autres mortiers par des propriétés remarquables de pouvoir être mis en œuvre dans les zones endommagées les plus complexes, difficiles de les atteindre, sans vibration extérieure (grande fluidité), sous son propre poids. C'est le mortier auto plaçant par excellence MAP (SCM: Self-Consolidating Mortar). Les intérêts attractifs qui offrent ces mortiers, peuvent s'étendre en les combinant avec un mortier de fibres MAPF (FR-SCM: Fiber Reinforced Self-Consolidating Mortar).

Notre travail de thèse axe principalement à l'étude de l'influence des additions minérales locales sur les performances des mortiers autoplaçants renforcés de fibres MAPF_s. A cet effet, quatre mélanges de MAPFs ont été formulés au laboratoire. Le premier type est un mortier de contrôle (MAPF0) contenant que du ciment Portland. Cependant, les mortiers restants (MAPF10, MAPF20 et MAPF30) sont à base de poudre de perlite naturelle où le ciment a été partiellement remplacé par cette poudre avec des taux de 10%, 20% et 30%, respectivement. Plusieurs points importants ont été traités pour les mortiers élaborés: Les performances intrinsèques en termes de tenue mécanique (conductivité thermique, résistance mécanique, module de Young, retrait, l'absorption et l'adhérence. Et la compatibilité entre ces mortiers et les substrats de béton dans des environnements de durcissement distincts.

La thèse s'articule autour de trois parties.

La première partie est une étude bibliographique et regroupe les chapitres de 1 à 3.

Le premier chapitre comporte un panorama de l'essentiel des pathologies qui menacent la durabilité, la résistance voire la stabilité des structures et peuvent entraîner leur échec. Un aperçu détaillé sur les principales étapes d'un diagnostic ainsi que les méthodes et techniques

expérimentales pour la remise en état du béton selon les spécifications de la norme EN 1504 sont présentés dans ce chapitre.

Le deuxième chapitre a pour objectif de présenter un aperçu détaillé sur les mortiers autoplacants conventionnels MAPs et fibrés MAPFs, le type de filler utilisé en tant que substitut cimentaire ainsi que leurs applications potentielles. Un intérêt tout particulier sera accordé dans ce chapitre aux différentes méthodes de caractérisation de ces mortiers à l'état frais.

Le troisième chapitre traite les exigences générales sur les mortiers autoplacants de réparation ainsi que les travaux récents qui traitent la rhéologie, la durabilité et la compatibilité de ces mortiers.

Le quatrième chapitre se trouve dans la deuxième partie de la thèse. Ce chapitre est consacré à la caractérisation des matériaux et aux méthodes d'essais utilisés pour l'élaboration des mortiers autoplacants de réparation, à partir de la poudre de perlite naturelle. A l'état frais, nous nous sommes basé sur les spécifications et lignes directrices de l'EFNARC pour quantifier l'étalement (24 à 26cm) au mini cône et le temps d'écoulement (7 à 11cm) au mini V-funnel et ce par ajustement du dosage en superplastifiant, en fonction du dosage en additions. Cependant, les propriétés à l'état durci de ces matériaux de réparation élaborés à savoir la conductivité thermique, les réponses mécaniques (résistance en flexion et en compression), le module d'élasticité, le retrait et la durabilité (absorption de l'eau) sont évalués sur la base des exigences de performances des mortiers de réparation (EN 1504-3). En outre, la compatibilité de ces mortiers de réparation a pris sa part dans ce chapitre. En effet, elle a été évaluée par l'essai de flexion 4 points dans trois environnements de durcissements compte tenu des conditions probables sur le terrain et de l'épaisseur de la couche de réparation.

Quant à la partie finale, comprenant le cinquième chapitre, elle est entièrement consacrée à la présentation, à l'analyse et à la synthèse des résultats produits dans le cadre des travaux expérimentaux ([chapitre 4](#)). En effet, nous avons clôturé ce dernier chapitre par une étude de coût de production des mortiers de réparation élaborés à base de la poudre de perlite naturelle. Enfin, dans la conclusion, nous ferons un bilan des acquis de ce travail et quelques perspectives seront présentées.

Chapitre 1:

LES PATHOLOGIES DES OUVRAGES EN BÉTON ARMÉ ET TECHNIQUES DE RÉPARATION

1.1 Introduction

Le béton n'est pas toujours le matériau indestructible que l'on croit. En effet, en dehors des fautes de conception, de calcul, du mauvais choix des matériaux et de défauts de mise en œuvre.

Les actions physico-chimiques hypothèquent la durabilité, la résistance et la stabilité des structures en béton et peuvent même entraîner leur dégradation. C'est la raison pour laquelle la norme EN 206-1 (EN 206-1 2004), définit 18 classes d'exposition et impose certaines exigences sur la formulation des bétons.

En effet, selon l'AFGC (2003), les dégradations du béton comportent 3 phases successives:

- une phase d'incubation qui correspond à l'altération lente du béton, sans l'apparition de désordres visibles;
- une phase d'initiation: aucun désordre n'est visible, l'élément perd d'abord sa protection, il est ensuite exposé à des agents comme de l'eau avec/sans substances chimiques qui pénètrent dans l'élément. Ces matières en atteignant une certaine concentration rendent l'élément vulnérable et le processus d'endommagement réel débute;
- et une phase de développement des dégradations du matériau béton.

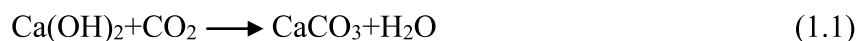
Dans ce qui suit, nous essayons de dresser un panorama de l'essentiel des pathologies qui menacent la durabilité, la résistance voire la stabilité des structures et peuvent même entraîner leur dégradation.

1.2 Les pathologies d'origine chimique

1.2.1 La carbonatation et la corrosion des aciers

Le béton est un matériau basique, possédant un pH aux alentours de 13. Il est vulnérable aux acides et plus particulièrement aux acides forts. Il constitue en effet, un milieu protecteur pour les armatures autour desquelles se forme un film passif (Figure 1.1) qui réduit la cinétique de corrosion des armatures.

Le béton se carbonate (Figure 1.2), suite à une réaction chimique entre la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et le dioxyde de carbone se trouvant à l'air (CO_2), suivant l'équation:



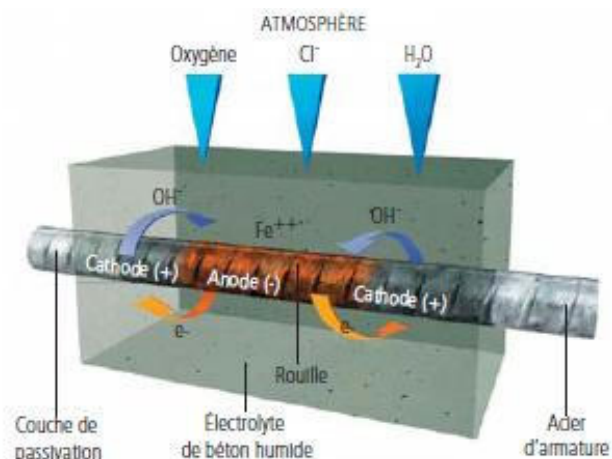


Figure 1.1 – Processus de corrosion des armatures (Parexlanko 2008).



Figure 1.2 – Élément en béton carbonaté (Parexlanko 2008).

En effet, Cette réaction se débute en surface puis progresse lentement vers le cœur du béton (20 mm de carbonatation après 25 ans pour un béton courant). Elle a pour effet d'abaisser le pH de la phase interstitielle à une valeur inférieure à 9. La couche de passivation autour de l'acier d'armature devienne instable, et sa protection est ainsi perdue.

1.2.2 Les réactions sulfatiques

Les ponts qui traversent un plan d'eau, les fondations et les murs de soutènement, sont souvent sujets à des ions sulfatiques de différentes sources voire de différentes concentrations. En occasionnant à ses structures de sérieux dégâts. En effet, les sources de sulfates de béton sont au nombre de 2 :

- sources de sulfates externes du béton (eau de mer, engrais et d'autres produits chimiques);
- sources de sulfates internes du béton (granulats contenant le gypse, taux de gypse dans le ciment dépassant la valeur exigée par la norme).

La réaction sulfatique est causée par l'action des sulfates (sources externes et/ou internes) avec la chaux et les aluminates du ciment. Les conséquences de cette réaction consistent en la formation d'un produit très expansif, communément connu sous le nom d'étringite, causant de sérieux dégâts accompagnés de pertes de masses et de résistance à la surface du béton.

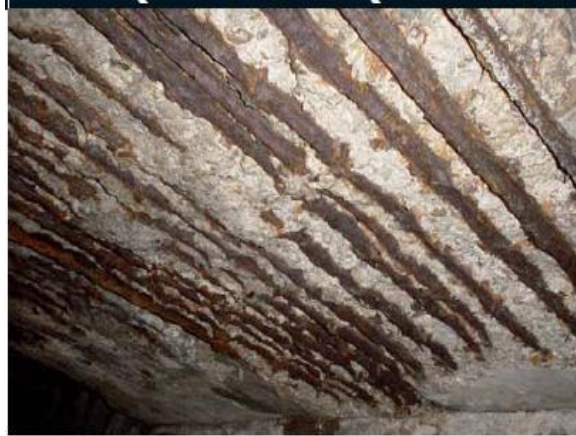


Figure 1.3 – Structure en béton armé sérieusement altérée par les sulfates (Parexlanko 2008).

1.2.3 L'alcali-réaction

L'Alcali-réaction est une autre cause de détérioration du béton. C'est une réaction fréquente qui se produit entre le granulats contenant une certaine quantité de silice réactive et les alcalins du ciment.



Figure 1.4 – Effet de l'alcali-réaction sur une structure en béton armé (Parexlanko 2008).

Le produit de cette réaction est un gel très expansif qui se traduit par un gonflement occasionnant des fissures ainsi que des faïençages sur la surface du béton. La réaction alcali-réaction, est gouvernée par 3 principales conditions à savoir :

- les granulats soient potentiellement réactifs;
- l'humidité relative excède 80-85%;

- la concentration des alcalins de ciment dépasse un seuil non toléré par la norme.

1.2.4 Le gel et dégel

La durabilité des éléments en béton armé (balcons, corniches, longrines,... etc.), se trouvant fréquemment dans les zones saturées en humidité, est compromise vis-à-vis de la succession des cycles humidité et gel. En effet, la détérioration du béton par le gel et le dégel se présente sous 2 formes à savoir, la détérioration interne et la détérioration externe. La détérioration interne du béton, est causée par une augmentation du volume de l'eau infiltrée dans le béton de 9% (Ferrier 1999), occasionnant un gonflement (contraintes internes). Ce dernier, engendre un réseau de microfissures généralisé à l'intérieur du béton. La cinétique de dégradation dépend principalement de certains facteurs tels que, le nombre de cycles, les températures maximale et minimale, le taux de gel et le degré de saturation. Elle est beaucoup plus prononcée au contact du sel de déverglace voire des produits chimiques.

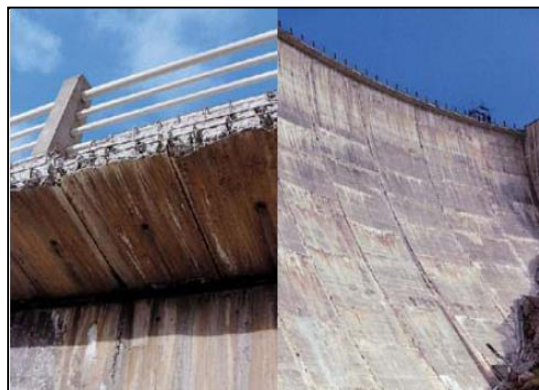


Figure 1.5 – Altération d'un ouvrage par des cycles de gel/dégel (Parexlanko 2008).

1.2.5 Le retrait

Le retrait est un phénomène physico-chimique qui se produit, pendant les premières heures qui suivent la fabrication du béton. Il est principalement dû au départ progressif de l'eau en excès se trouvant dans la matrice cimentière. En effet, il engendre des changements volumétriques qui conduisent à la fissuration prématurée de l'ouvrage. Selon Theillout (1997), le retrait engendre 3 types de fissures:

- fissures qui apparaissent 1 à 2 heures, après le bétonnage. Elles sont profondes voire ouvertes ;
- fissures qui apparaissent après, le décoffrage. Elles se trouvent sur les surfaces horizontales et les parements verticaux;
- fissures à long terme.

On ne peut guère stopper le retrait, mais on peut le limiter en utilisant certains matériaux comme par exemple les superplastifiants (ajustement du rapport E/C), et les fibres (augmentation la résistance en traction).

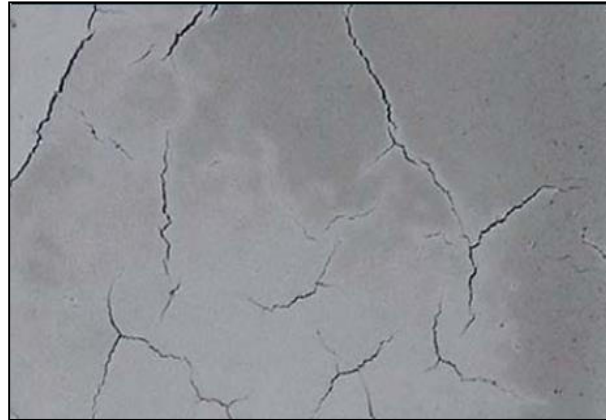


Figure 1.6 – Façade altérée par le retrait (Parexlanko 2008).

1.3 Les pathologies d'origine mécanique

1.3.1 Le choc

Au cours de leurs exploitations, les ouvrages en béton armé, plus particulièrement les piles émergées de pont, les tunnels et les trémies, présentent quelques pathologies d'origines accidentelles de type mécanique (Theillout 1997).



Figure 1.7 – Ouvrage en béton altéré sous l'effet des chocs (Parexlanko 2008).

En effet, les chocs des poids lourds, engendrent de graves dommages d'importances diverses (éclatement de béton voire cisaillement des aciers), sur l'intrados des ponts. Les piles émergées des ponts subis le même sort sous l'action de chocs répétés par les objets mobiles (les bateaux).

1.3.2 L'incendie

Au cours d'un incendie, le béton est sujet à une chaleur extrême. En effet, l'élévation de la température engendre des transformations physico-chimiques et micro-structurelles occasionnant un changement des propriétés mécaniques (Tableau 1.1). Le béton commence à se dégrader de l'extérieur vers le cœur, la surface du béton ainsi dégradée prend la forme d'écaillés (Figure 1.8).



Figure 1.8 – Structure en béton armé dégradée par le feu (Divet et al. 2005).

Tableau 1.1– Les principales réactions physico-chimiques dans le béton en fonction de la température (Divet et al. 2005).

Température	Phénomène
Jusqu'à 80 °C	Départ de l'eau libre.
À partir de 80 °C	Une partie de l'eau adsorbée s'échappe du béton. Début de la perte de l'eau de constitution de certains hydrates (notamment l'ettringite). L'eau liée chimiquement commence donc à s'évaporer du béton.
Jusqu'à environ 300 °C	Première étape de déshydratation des silicates de calcium hydratés (C-S-H).
Entre 450 et 550 °C	Décomposition de la portlandite en chaux libre selon la réaction : $\text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$.
573 °C	Transformation allotropique du quartz α en quartz β accompagnée d'un phénomène de dilatation (fissuration des granulats siliceux).
600 - 700 °C	Décomposition des phases C-S-H et formation de β -C ₂ S. Il s'agit de la deuxième étape de déshydratation des C-S-H qui produit une nouvelle forme de silicates bicalciques (C ₂ S).
700 - 900 °C	Le carbonate de calcium se décompose en libérant de la chaux : $\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (décomposition des calcaires).
À partir de 1100 - 1200 °C	Formation de wollastonite β (CaO.SiO ₂). Début de la fusion de certains agrégats et de la pâte de ciment. Remplacement au cours de l'échauffement des liaisons hydrauliques par des liaisons céramiques (phénomène de frittage).

1.4 Les principales étapes d'un diagnostic

Le diagnostic d'une structure en béton dégradée, s'adresse principalement aux personnes ayant de bonnes connaissances des divers systèmes constructifs et de leur pathologie ainsi qu'une certaine expérience pratique (Bornand 1985, Joffroy 1999).

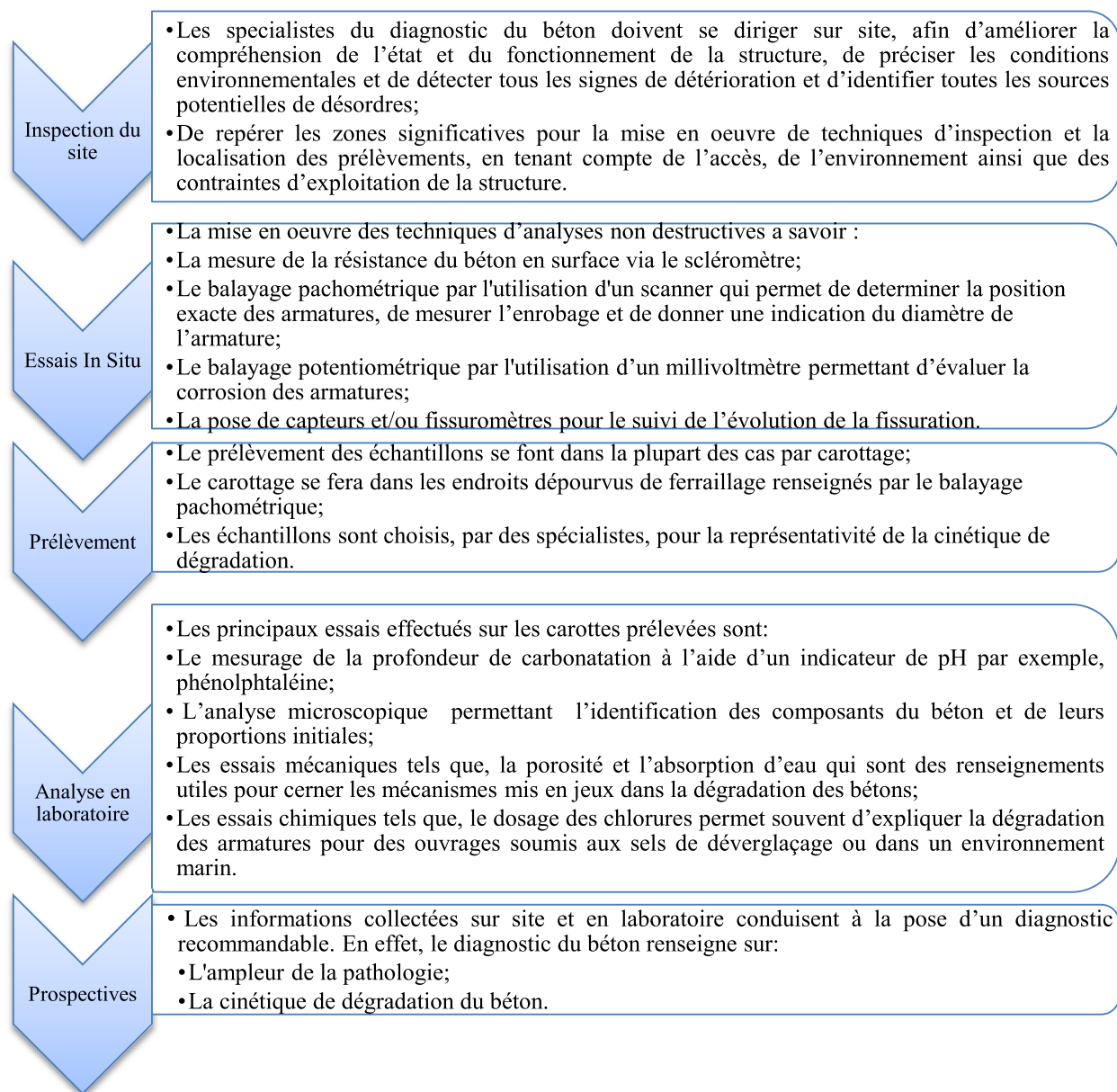
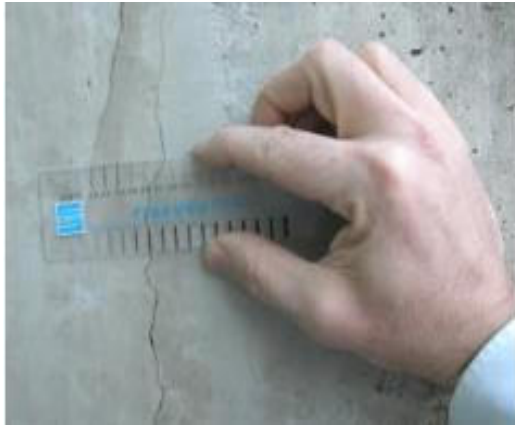


Figure 1.9 – Les étapes clé du diagnostic d'une structure en béton.

En effet, ce dernier aide les inspecteurs confrontés aux structures dégradées à:

- identifier l'origine des pathologies;
- pronostiquer leur étendu dans l'espace et dans le temps;
- définir des solutions de protection ou de réparation envisageables.

La chose importante qu'il faut signaler, est que la qualité du diagnostic dépend, pour une grande part, la réussite ou l'échec de la réparation. La [Figure 1.9](#) regroupe les principales étapes à suivre pour diagnostiquer une structure.



Fissurotest ([Ginger-cebtp](#))



Mesureur de largeur de fissures électronique ([Ginger-cebtp](#))



Roue électrode pour estimer la corrosion ([AFGC 2003](#)).



Mesures sclérométrique avec enregistreur ([Divet et al. 2005](#)).

Figure 1.10 –Principaux appareillages utilisés lors du diagnostic des structures en béton armé.

1.5 Les principes étapes de remise en état du béton selon la norme EN 1504

Les structures en béton sont souvent exposées à des environnements agressifs, et il est donc important de concevoir des réparations à la fois durables et économiques. En effet, la réparation des structures en béton est une étape clés pour redonner pratiquement les sections initiales des armatures et du béton de la structure qu'il avait avant les sinistres subis et qui n'exigera aucune intervention importante pendant plusieurs années à venir.

La sélection des matériaux et la technique de réparation dépend des conditions de service et d'application et ce qu'après avoir déterminé l'origine de la pathologie affectant la structure. Désormais, ces techniques obéissent à la norme EN 1504 « Produits et systèmes pour la réparation et la protection des structures en béton ». La présente norme qui comporte 10 parties ([Tableau 1.2](#)) et 65 méthodes d'essai, a normalisé les activités des travaux de réparation dont le but d'aider les maîtres d'ouvrages et les professionnels de la construction à réaliser avec succès les travaux de réparation et de protection de tous types de structures en béton. La partie 9 de la norme EN 1504 définit les principes de base à appliquer séparément ou combinés en cas de protection ou de réparation des structures en béton armé ou non, exposées à l'atmosphère, enterrées ou immergées. Cette norme définit deux grandes familles de dégradation, regroupées en 11 principes ([Tableau 1.3](#)). Les principes 1 à 6 prennent en compte les défauts dans le béton et les principes 7 à 11 prennent en compte la corrosion de l'armature. Pour chaque principe défini de remise en état, les méthodes correspondantes permettant de réparer voire minimiser les défauts avec succès après avoir établi un bon diagnostic de la structure, conduisant à l'identification de l'origine de la dégradation et en tenant compte des objectifs et spécifications du maître d'ouvrage. Dans la suite de notre travail, nous allons focaliser notre attention sur la réparation des structures via les mortiers, en se basant sur le principe 3, 4 et 7 de la norme [EN 1504-9](#).

Tableau 1.2– La série de normes européennes EN 1504.

N° du document	Description
EN 1504-1	Décrit les termes et les définitions de la norme.
EN 1504-2	Définit les caractéristiques des produits /systèmes de protection de surface pour béton.
EN 1504-3	Définit les caractéristiques des réparations structurales et non structurales.
EN 1504-4	Définit les caractéristiques du collage structural.
EN 1504-5	Définit les caractéristiques de l'injection du béton.
EN 1504-6	Définit les caractéristiques de l'ancrage des barres d'acier d'armature.
EN 1504-7	Définit les caractéristiques de la protection contre la corrosion des armatures.
EN 1504-8	Définit la maîtrise de la qualité et l'évaluation de la conformité des sociétés de fabrication.
EN 1504-9	Définit les principes généraux d'utilisation des produits et systèmes de réparation et de protection du béton.
EN1504-10	Fournit des informations sur la mise en œuvre des produits sur site et le contrôle de la qualité des travaux.

Tableau 1.3– Principes et méthodes de réparation et de protection par le mortier selon la norme EN 1504-9 (EN 1504-9 2008).

Principes		Description	Méthodes
Principes et méthodes relatifs aux défauts dans le béton	Principe3	Restauration du béton.	3.1 Application manuelle de mortier 3.2 Nouveau béton ou mortier coffré 3.3 Projection de béton ou de mortier 3.4 Remplacement d'éléments
	Principe4	Renforcement structural.	4.1 Ajout ou remplacement d'armatures internes ou externes 4.2 Ajout d'armature scellée dans des trous précreusés ou forés 4.3 Collage d'éléments de renforcement 4.4 Ajout de mortier ou béton 4.5 Injection dans les fissures, les vides ou les interstices 4.6 Colmatage des fissures, des vides et des interstices 4.7 Précontrainte
Principes et méthodes relatifs à	Principe7	Préservation ou restauration de la passivité.	7.1 Augmentation de l'enrobage par mortier ou béton supplémentaire 7.2 Remplacement de béton pollué ou carbonaté 7.3 Ré-alkalinisation électrochimique du béton carbonaté 7.4 Ré-alkalinisation du béton carbonaté par diffusion 7.5 Extraction électrochimique de chlorures.

1.6 Principales étapes de réparation des structures en béton armé

1.6.1 Enlèvement du béton dégradé

Il est impératif dans cette phase d'enlever toutes les parties de béton non adhérentes au support. L'opération consiste à repérer par l'écoute (à l'oreille), en frappant la surface du béton, les zones qui « sonnent creux » et donc qui sont affectées d'une fissure interne engendrée par la poussée des armatures oxydées (Johnson et al. 1969).

En outre, lorsque la zone de béton carbonatée s'étend jusqu'aux armatures, il faut enlever complètement la périphérie des armatures jusqu'à l'apparition du béton sain et mesurer en conséquence, le diamètre résiduel des armatures corrodées en fonction des préconisations du diagnostic.

Enlèvement du béton pollué et de la rouille

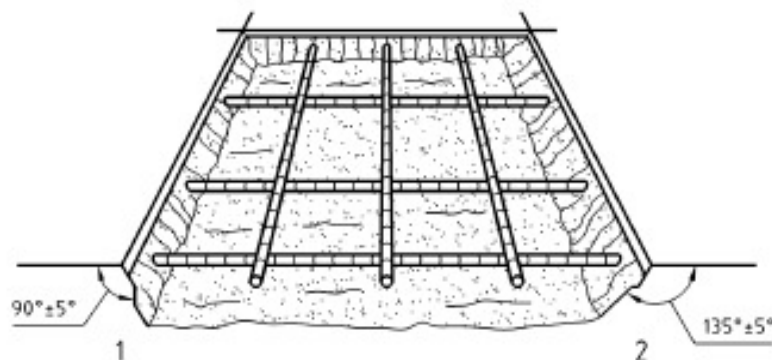
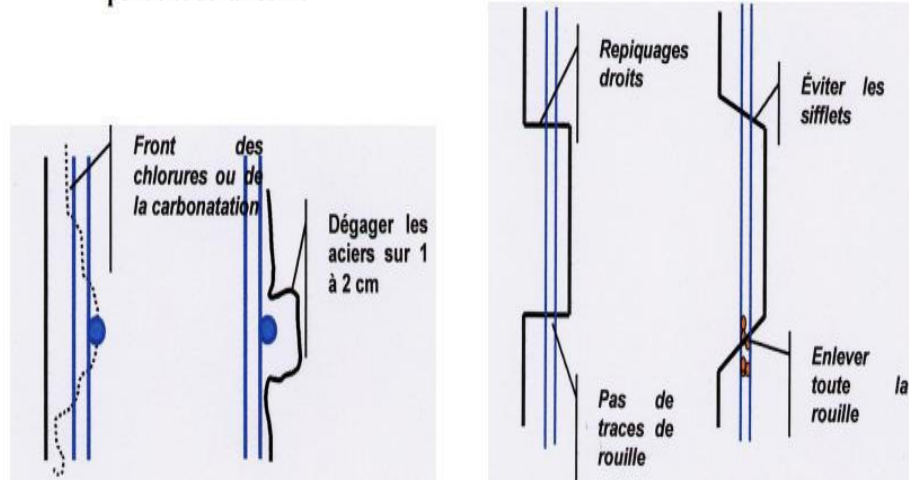


Figure 1.11 – Enlèvement du béton selon la norme EN1504-10 (Bricard 2014).

1.6.2 Nettoyage des surfaces

Le nettoyage de la surface est une étape nécessaire pour faire chasser toute poussière, débris voire huiles afin d'aboutir à une adhérence désirée entre le matériau de réparation et le béton sain. Le mode de nettoyage varie selon les techniques de préparation de surface (Silfwerbrand et al. 1998). En effet, la méthode de nettoyage doit être compatible avec le produit de réparation. On distingue les méthodes à sec (brossage et aspiration soufflage à l'air sec déshuilé) et les méthodes humides.

1.6.3 Humidification de la surface

Avant la mise en œuvre d'un matériau de réparation à base d'un liant hydraulique sur le support en béton. Il est faut préalablement humidifier le support quelques heures avant la réparation, et ce pour assurer une bonne adhérence et d'éviter l'effet de dessiccation (retrait plastique) du nouveau matériau.

1.6.4 Traitement ou remplacement des armatures existantes

Au cours d'une opération de réparation du béton, il faut veillez de ne pas couler le matériau de réparation sur les armatures présentant des traces de corrosion, saleté, huiles voire tous corps suspects. Pour les armatures faiblement corrodées il faut procéder au nettoyage par brossage (manuel et/ou mécanique) ou bien par jet de sable à haute pression et d'appliquer le revêtement anticorrosion (passivant) sur les armatures sans déborder sur le béton.

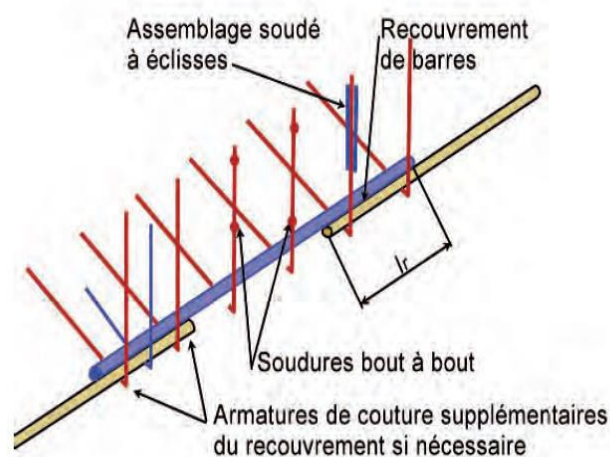


Figure 1.12 - Principe de remplacement de ferrailage endommagé
Tirées des guides STRRES (Fabem 7 2011)

Cependant, les armatures fortement corrodées doivent impérativement être remplacées par d'autres armatures neuves, pour rétablir la capacité portante de l'élément (Figure 1.12).

1.6. 5 Mise en œuvre du matériau de réparation

Il s'agit dans cette dernière étape de rétablir la forme initiale de l'élément en béton par l'apport d'un matériau de réparation. Nous rappelons que le choix du matériau de réparation est le fruit d'un diagnostic fastidieux sur le terrain. A cet effet, le matériau choisi, doit être adhérent présentant, vis-à-vis des futurs agents de détérioration, une résistance meilleure que celle du vieux béton. Nous rappelons que la mise en place d'agents de liaison tels que du mortier, du mortier avec latex ou de la résine d'époxy est parfois proposée. Wells (1999) a constaté que l'utilisation de tels agents peut aider à améliorer nettement l'adhérence de la réparation lorsque la surface n'est pas suffisamment traitée (rugueuse). Cependant, Silfwerbrand al. (1998) ne sont pas tout à fait d'accord. Ils rapportent que l'application d'un agent donne deux interfaces de contact et donc deux plans de déamination entre la réparation et son socle.

1.7 Les techniques de réparation du béton par le mortier

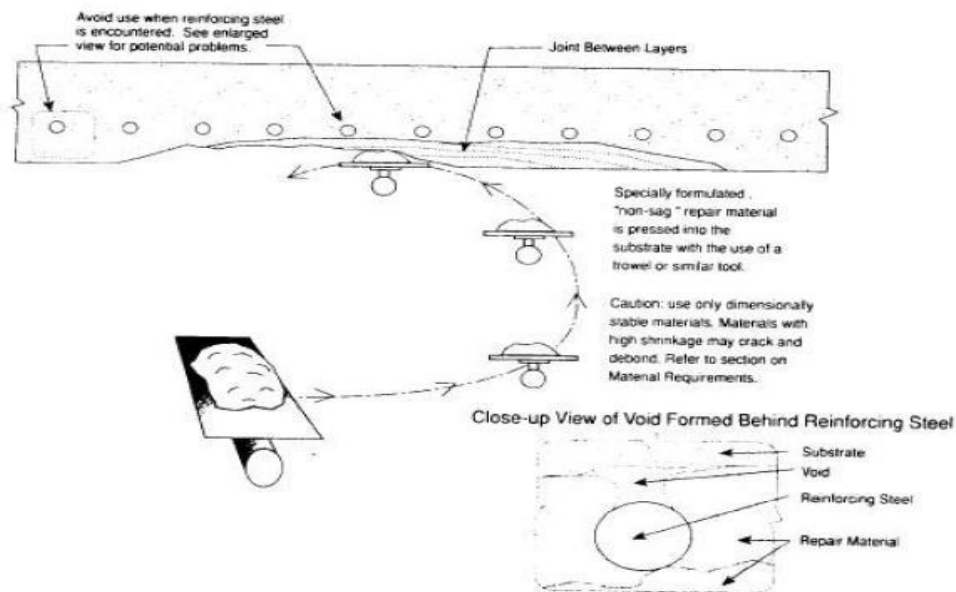
Généralement, la réparation d'une structure peut se faire selon l'ampleur des dégradations constatées lors de l'opération de diagnostic, soit par simple ragréage, lorsqu'il ne s'agit que de réparer des défauts superficiels de faible importance, soit en faisant une véritable restructuration, lorsqu'il faut reconstituer un volume non négligeable de béton, qui participe à la résistance de l'ouvrage (Mamillan 1996, Collobet 1998).

1.7.1 Restauration du béton par application d'un mortier (Principe 3-EN 1504)

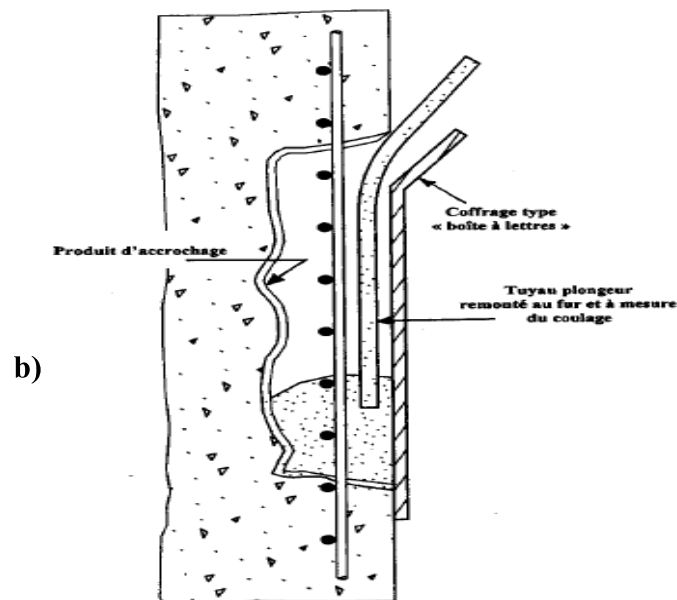
1.7.1.1 Application du mortier à la main (méthode 3.1)

La réparation du béton par le mortier (généralement, le mortier hydraulique) est une méthode qui est plus économique dans le cas de faibles dégradations.

La mise en place du mortier est réalisée classiquement à la truelle en le faisant pénétrer dans le support préparé et il doit être compacté pour éviter des défauts tels que les effets de bulles ou encore les nids, et obtenir ainsi une bonne adhérence et à protéger les armatures contre la corrosion. Le mortier peut être appliqué en plusieurs couches. Cependant, on doit attendre que les premières couches soient suffisamment rigides avant d'appliquer une nouvelle couche pour prévenir l'affaissement du matériau de réparation (Figure 1.13a).



a)



b)

Figure 1.13 –Technique de réparation du béton par le mortier.

1.7.1.2 Par mortier coulé dans un coffrage (méthode 3.2)

Cette méthode est généralement utilisée pour les réparations d'éléments porteurs comme les poteaux, les poutres et les dalles, souvent difficiles d'accès et avec une forte densité d'armatures. Le mortier de réparation utilisé dans ce cas, présente deux propriétés principales à savoir la fluidité et la capacité d'enrobage des armatures.

Ce mortier est mis en œuvre par coulage dans un espace délimité par la surface du béton à réparer et un coffrage étanche (Figure 1.13b). Il doit être dépourvu de tout signe de

ségrégation et de ressuage. Afin d'assurer un débit continu, le mortier peut éventuellement être amené à l'aide d'une pompe.

1.7.1.3 Par mortier projeté (méthode 3.3)

Cette technique est très répandue tant sur le plan de renforcement des structures insuffisantes ou défaillantes que sur le plan de la réparation des ouvrages endommagés. En effet, elle permet de réaliser des couches de mortier ($D_{\max} \leq 5\text{mm}$) de volumes importants dont le but d'épouser la structure endommagée et d'augmenter l'épaisseur de recouvrement des armatures sur des surfaces étendues, sans l'utilisation de coffrage. Cette technique trouve aussi son application aux chantiers d'accès difficile pour les techniques de coulage ou d'application manuelle. On distingue deux techniques de projection, suivant le moment d'introduction de l'eau dans la machine.

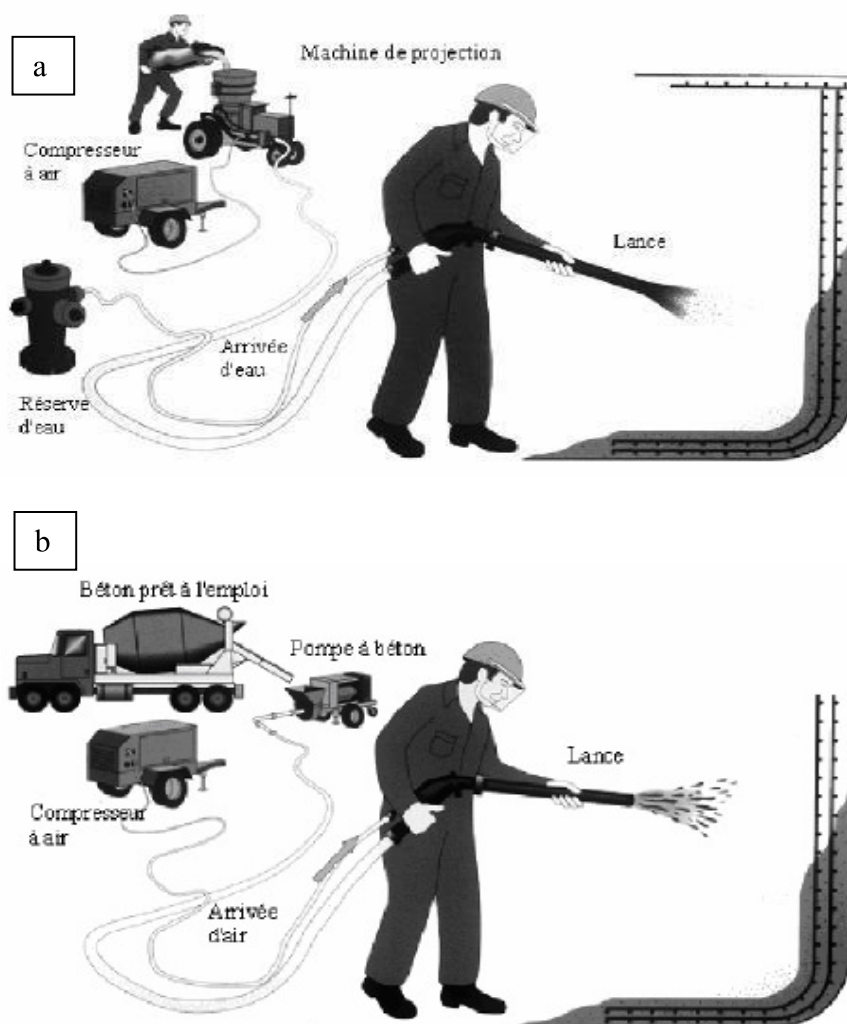


Figure 1.14 – Renforcement des structures par le mortier projeté (méthode 3.3): a) Projection par voie sèche ; b) Projection par voie humide (Tech Bat).

- projection de mortier par voie sèche (Figure 1.14a): L'eau est introduite au dernier moment au niveau de la lance. La machine propulse sur des distances importantes. Cette technique est utilisée pour les réparations structurales car elle garantit une bonne adhérence ainsi qu'une bonne résistance mécanique (Figure 1.15);

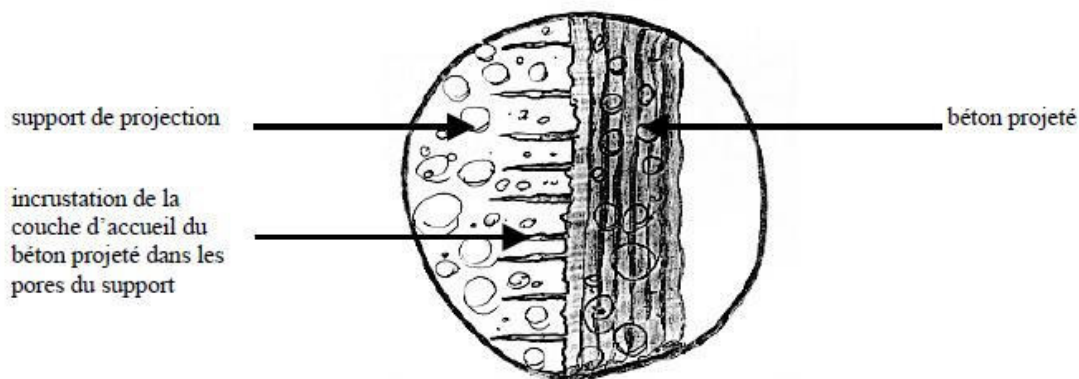


Figure 1. 15 – Adhérence par action mécanique due à l'incrustation des fines dans les pores du support (Geromy 2003).

- projection de mortier par voie humide (Figure 1.14b): L'eau est introduite lors du malaxage du mortier. La machine propulse sur des distances très faibles avec une vitesse inférieure à 1m/s. Cette technique est utilisée dans les travaux souterrains en raison de leur résistance élevée en compression. Elle produit moins de rebond et donc moins de poussière que la voie sèche.

1.7.2 Renforcement structural (Principe 4)

Cette technique consiste en l'application de mortier (méthodes et systèmes déjà décrits pour le principe 3: Restauration du béton), après avoir installé les barres d'armature par scellement dans des trous préformés ou scellées dans des trous percés dans le béton.



Figure 1.16 –Ajout de mortier ou de béton NF N1504-3.

A cet effet, l'ajout de mortier contribue de façon significative à solidariser les armatures d'acier destinés à améliorer les performances mécaniques des éléments renforcés, à la fois en service et à rupture, par l'augmentation de la capacité portante.

1.7.3 Préservation ou restauration de la passivité (Principe 7)

Ces techniques de réparation consistent à utiliser un mortier permettant de redonner à l'ouvrage la passivation voulu de l'enrobage dégradé et pollué (par le CO₂ et/ou les chlorures) pour le reste de la durée de vie de l'ouvrage. Pour cette raison, le mortier ainsi utilisé doit avoir un pH élevé qui après sa mise en œuvre devient une cathode forte au regard du béton existant qui devient une zone anodique où il y a risque de corrosion.



Figure 1.17 – Augmentation de l'enrobage de l'armature par projection de mortier (méthode 7.1).

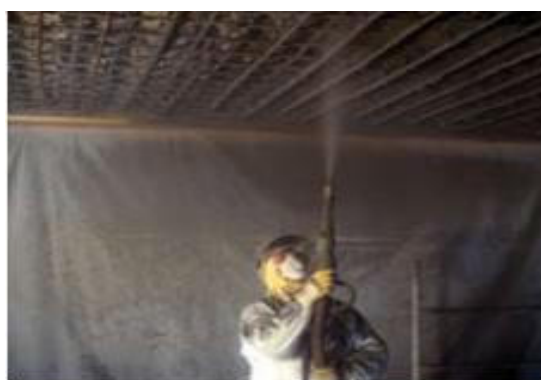


Figure 1.18 – Mortier utilisé en remplacement du béton pollué ou carbonaté (méthode 7.2).

En outre, il a été rapporté que du point de vue électrochimique, une réparation par mortier est conçue pour supprimer la réaction anodique qui existait avant la réparation et l'empêcher de se reproduire (Qian 2006).

1.8 Les mortiers de réparation du béton

Présentement, plusieurs types de mortiers de réparation du béton existent dans le commerce. Le choix du matériau dépend de l'épaisseur de la couche de réparation prévue et de ces propriétés à l'état frais et durci (Figure 1.19). Embersons (1990) et Morgan (1996) ont classé ces mortiers en trois groupes, selon que le liant, qui assure la cohésion de l'ensemble, est de nature hydraulique (ciment), organique réactif (résine synthétique) ou mixte, c'est-à-dire à la fois hydraulique et organique réactif (ciment + polymère). Des exemples de ces mortiers sont présentés dans les Tableaux 1.4 et 1.5.

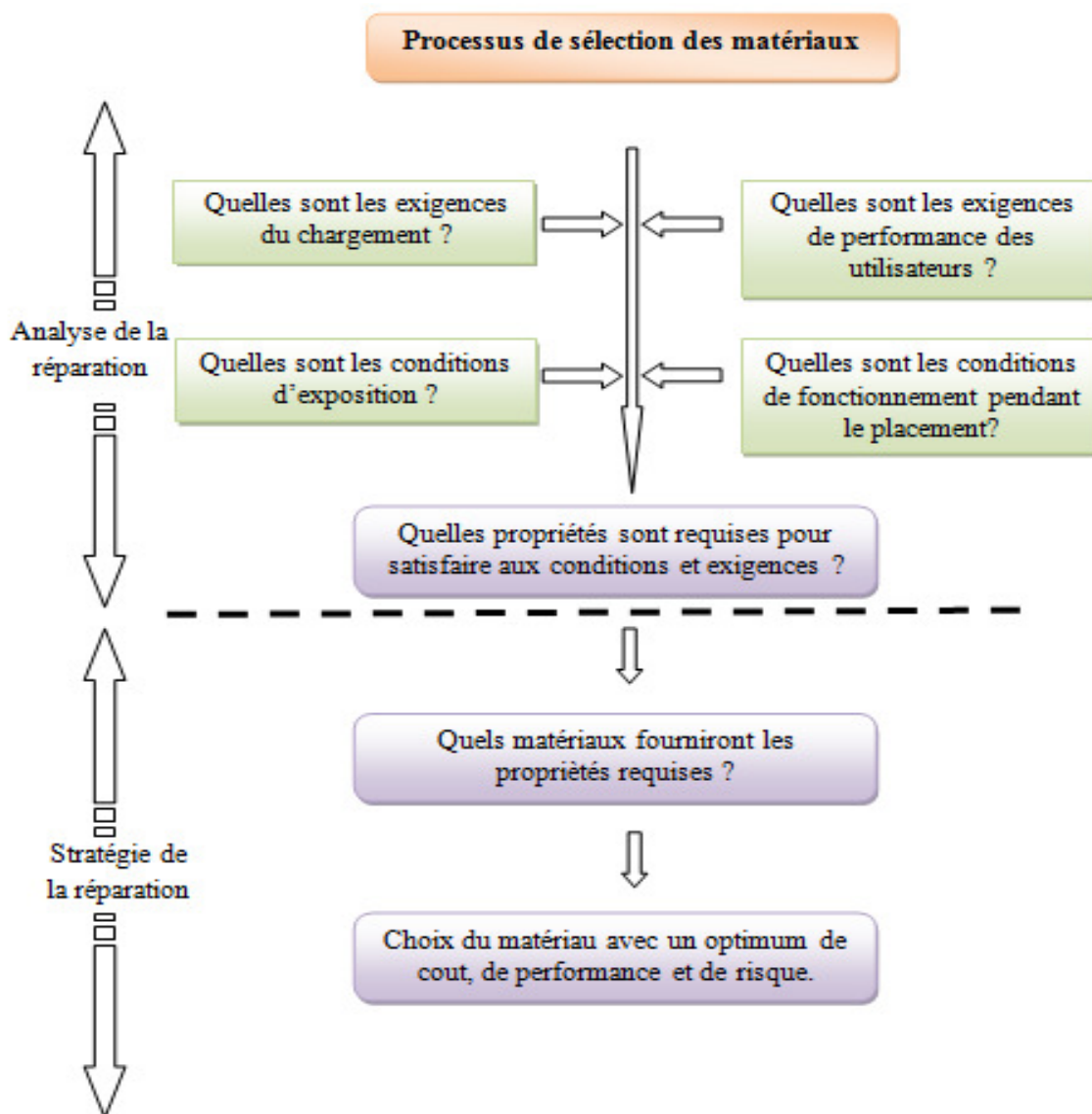


Figure 1.19 – Organigramme illustrant le processus de sélection pour un matériau de réparation (Rashmi 2006).

Tableau 1.4– Classification des mortiers par Morgan (1996).

Mortiers classiques	Mortiers modifiés par les polymères	Mortiers résineux
-Mortiers à base de ciment Portland ordinaire. -Mortiers à base de ciment alumineux.	-Mortiers à base de ciment modifié par un polymère styrène butadiène. -Mortier à base de ciment modifié par un polymère vinyle acétate.	-Mortier d'époxy -Mortier acrylique -Mortier polyester

Tableau 1.5 – Propriétés des matériaux de réparation de béton typiques (Emmons et al. 1993).

Type de matériau de réparation	Mortier à base de polymères	Mortier cimentaire modifié par des polymères	Mortier cimentaire simple
Résistance en compression (MPa)	50-100	30-60	20-50
Résistance à la traction (MPa)	10-15	5-10	2-5
Module d'élasticité (GPa)	10-20	15-25	20-30
Coefficient de dilatation thermique (°C)	$2-30 \cdot 10^{-6}$	$10-20 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-6}$
Température maximale de service (°C)	40-80	100-300	>300

- Les mortiers à base de liants hydrauliques (CC) (Cement Concrete/Mortar), ont des propriétés mécaniques qui sont essentiellement similaires au substrat béton. C'est pour cette raison qu'ils sont préférés dans les travaux de réparation du béton. Ils peuvent contenir des ciments courants ou des ciments spéciaux conformes à la norme EN 197-1. Ces mortiers se singularisent des mortiers ordinaires par l'utilisation d'additions minérales, les adjuvants et éventuellement les fibres pour leur conférer des propriétés particulières. En outre, leur plasticité ajoutée à l'aspect économique lors d'application sur de grandes surfaces est à la base du succès du mortier projeté pour les travaux de réparation.

- Les mortiers résineux (PC) sont composés de polymère (méthacrylate, polyuréthane, époxy...etc.). Et de granulats calibrés dont la prise se fait par polymérisation (Afnor, 2008). L'utilisation de ces mortiers, s'avère nécessaire pour des applications en petites surfaces. Tels que le renforcement des structures en béton armé, dont la résistance mécanique a été altérée par un ferrailage insuffisant, un choc ou un incendie, ou qui doivent être mises en conformité avec la réglementation sismique, s'effectue avec des systèmes composites collés à la résine. D'autres mortiers de résine peuvent aussi être utilisés pour la réparation des bétons endommagés ou détériorés, pour interrompre les phénomènes de dégradation et réparer les désordres constatés.

- Les mortiers à base de liants hydrauliques modifiés par les polymères sont désignés par l'acronyme PCC (polymer cement concrete/mortar). Les polymères les plus utilisés sont le latex. Le Styrène-Butadiène, le chlorure de polyvinyle), l'acrylonitrile-butadiène, le polychloropène, l'ester polyacrylique, l'acétate de polyvinyle, le poly (styrène/acrylate de n-

butyle) ou encore le poly (éthylène/acétate de vinyle) sont les latex les plus utilisés (Omriquine 2006, Nicot 2008, Fowler 1999, Mauroux 2012). Ces polymères sont ajoutés au mortier classique (ciment+sable+eau) afin d'améliorer les propriétés mécaniques et d'adhérence des mortiers de réparation et de réduire les propriétés de transfert (porosité, perméabilité, diffusivité des chlorures). Cette amélioration dépend non seulement du type du polymère mais aussi du rapport sable/ciment S/C (généralement compris entre 1:2 et 1:3), du rapport polymère/ciment P/C (variant de 5 à 20%) et rapport eau/ciment (E/C compris entre 0,3 et 0,6) selon la maniabilité désirée (Ohama 1995).

1.9 Les mortiers de réparation selon la norme EN 1504

En consultant la troisième partie de la norme EN 1504-3 nous constatons qu'il existe 4 classes d'exigence pour les mortiers de réparation. En effet, les résistances à la compression divisent les classes. Ils sont au nombre de 2 classes pour les mortiers de réparations non structurales (R1 et R2) et 2 classes pour les mortiers de réparation structurales (R3 et R4).

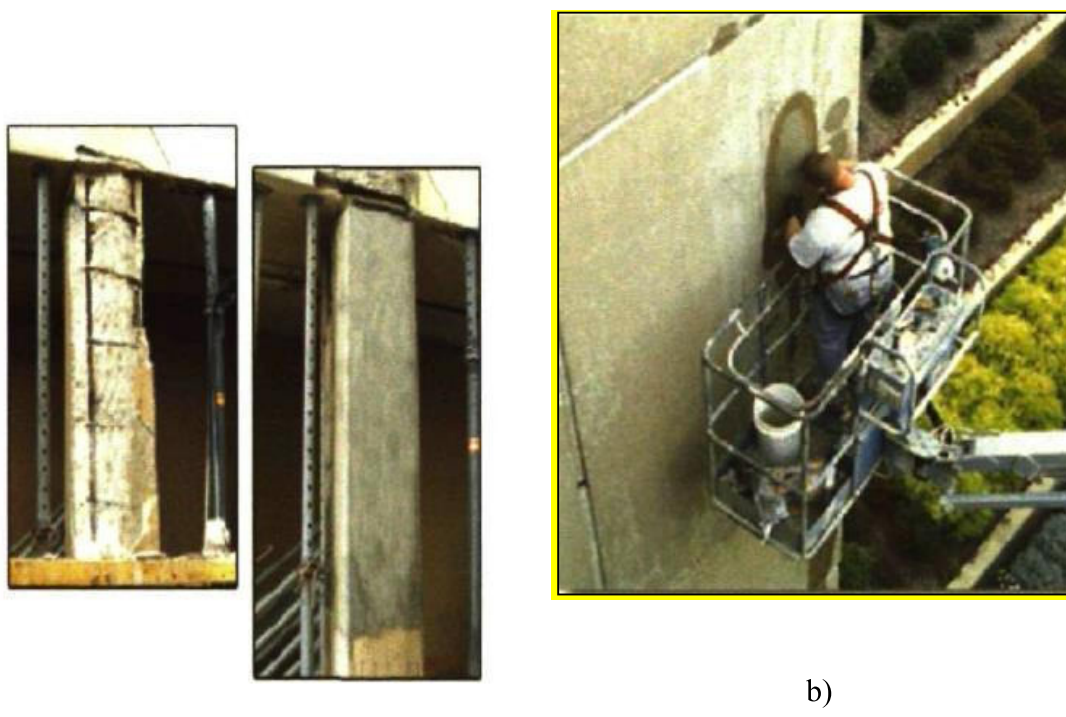


Figure 1.20 – Réparation du béton : a) réparation structurale et b) Réparation non structurale (Thomassin 2010).

Les mortiers de la première catégorie trouvent leur application sur les surfaces de béton pour restituer l'aspect géométrique ou esthétique de la structure. Les mortiers de deuxième catégorie, ils sont appliqués à une structure en béton pour remplacer le béton défectueux et

pour restituer à la structure son intégrité et sa durabilité (Figure 1.20). Présentement, plusieurs types de mortiers de réparation du béton existent dans le commerce. Le choix du matériau dépend d'abord de l'épaisseur de la réparation prévue.

De plus, la norme EN 1504-3 est assujettie à une déclaration de conformité obligatoire des produits et systèmes à utiliser pour la réparation structurale et non structurale des structures en béton. A cet effet, le fabricant de mortiers de réparation du béton doit soumettre son produit aux essais initiaux de performances (y compris en ce qui concerne la durabilité des matériaux) conformément aux valeurs indiquées dans les Tableaux 1.6 et 1.7 et que ce dernier doit répondre aux exigences.

Tableau 1.6– Caractéristiques de performances des produits de réparation structurale et non structurale.

Caractéristiques de performances	Principe de réparation			
	3	3	4	7
	Méthode de réparation			
	3.1; 3.2	3.3	4.1	7.1; 7.2
Force de compression	■	■	■	■
Taux d'ions chlorure	■	■	■	■
Pégosité	■	■	■	■
Expansion/retrait limité	■	■	■	■
Durabilité résistance à la carbonatation	■	■	■	■
Durabilité compatibilité thermique cycles gel/dégel ; pluie d'orage ; cycles thermiques à sec	□	□	□	□
Module d'élasticité	□	□	■	□
Résistance au glissement et au dérapage	□	□	□	□
Coefficient de dilatation thermique	□	□	□	□
Absorption capillaire (perméabilité à l'eau)	□	□	□	□

■ Performances exigées □ Performances optionnelles

Notes importantes :

- La résistance à la carbonatation n'est pas indispensable lorsque le système de réparation comprend un système éprouvé de protection des surfaces résistantes à la carbonatation.
- L'expansion/le retrait limité sont dispensables si des mesures de durabilité/cycle thermique sont prises.
- Choix de l'essai de cycle thermique sur la base des conditions d'exposition, par exemple exposition au gel et au dégel, au séchage et à l'humidité, au chaud et au froid, etc.

Dans la présente étude, seuls les mortiers à base de liants hydrauliques seront pris en compte pour la réparation du béton.

Tableau 1.7– Exigences en matière de performances des produits de réparation structurale et non structurales.

Caractéristiques de performances	Méthode d'essai	Exigences (Tableau 3 de la norme EN 1504 partie 3)			
		Structurale		Non structurale	
		Catégorie R4	Catégorie R3	Catégorie R2	Catégorie R1
Force de compression	EN 12190	≥ 45 MPa	≥ 25 MPa	≥ 15 MPa	≥ 10 MPa
Taux d'ions chlorure	EN 1015-17	≤ 0,05%		≤ 0,05 %	
Pégosité	EN 1542	≥ 2 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
Expansion/retrait limité	EN 12617-4	Résistance d'adhérence après essai			Aucune exigence
		≥ 2 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
Durabilité résistance à la carbonatation	EN 13295	$d_k \leq$ béton de référence		Aucune exigence	
Durabilité - compatibilité thermique gel/dégel	EN 12617-4	Résistance d'adhérence après 50 cycles			Contrôle visuel
		≥ 2 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
Durabilité - compatibilité thermique pluie d'orage	EN 12617-4	Résistance d'adhérence après 30 cycles			Contrôle visuel
		≥ 2 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
Durabilité - compatibilité thermique cycles thermiques à sec	EN 12617-4	Résistance d'adhérence après 30 cycles			Contrôle visuel
		≥ 2 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
Module d'élasticité	EN 13412	≥ 20 GPa	≥ 15 GPa	Aucune exigence	
Résistance au glissement et au dérapage	EN 13036-4	Catégorie I: ≥ 40 unités humides Catégorie II: ≥ 40 unités essayées à sec Catégorie III: > 55 unités essayées humides		Catégorie I: ≥ 40 unités essayées humides Catégorie II: ≥ 40 unités essayées à sec Catégorie III: > 55 unités essayées humides	
Absorption capillaire	EN 13057	≤ 0,5 kg/m ² ·h ^{0,5}		≤ 0,5 kg/m ² ·h ^{0,5}	Aucune exigence

1.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons pris connaissance des différentes origines des pathologies pouvant réduire la durée de vie utile d'une structure en béton armé. Nous avons aussi montré comment poser un diagnostic recommandable en fonction de l'ampleur de la pathologie et la cinétique de dégradation du béton et ce, pour choisir une technique de réparation adéquate garantissant ainsi la pérennité de la structure. En outre, le matériau de réparation a pris également sa part dans ce chapitre. Toutes les techniques de réparation du béton par les mortiers ont été brièvement décrites selon les exigences de la norme EN 1504.

Dans le chapitre qui suit, nous allons décrire un mortier de technologie nouvelle largement utilisé dans la réparation des structures en béton. Ce mortier est le mortier autoplaçant par excellence (Self Compacting Mortar).

Chapitre 2:

LES MORTIERS AUTOPLAÇANTS DE RÉPARATION DU BÉTON

2.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter un aperçu détaillé sur les mortiers autoplaçants ordinaires MAP et les mortiers autoplaçants renforcés de fibres, destinés à la réparation du béton, le type de filler utilisé en tant que substitut cimentaire ainsi que leurs applications potentielles. Un intérêt tout particulier sera accordé dans ce chapitre aux travaux réalisés sur la caractérisation de ces mortiers à l'état frais.

2.2 Le mortier autoplaçant

Par mortier autoplaçant (MAP, ou SCM, en anglais, self-compacting mortar), on désigne un produit de technologie nouvelle qui se distingue du mortier conventionnel par ses propriétés à l'état frais. En effet, ce type de mortier est capable de remplir complètement le coffrage sans apport d'énergie externe (vibration), quel que soit le confinement du milieu (nappe d'armatures dense ou en présence d'autres obstacles) (Figure 2.1).



Figure 2.1 – Quelques applications de mortier autoplaçant de réparation.

Et reste homogène au cours de l'écoulement (absence de ségrégation dynamique), et une fois mis en œuvre (absence de ségrégation statique). De ce fait, ce mortier est particulièrement

préférée pour la réhabilitation et la réparation des structures dégradées en béton armé (Courard et al. 2002), telles que les surfaces sous des taux élevés d'abrasion (plancher, dalle), les poutres qui présentent des insuffisances de résistances (à la flexion, à la traction, au cisaillement et vis-à-vis de l'effort tranchant), les coques minces, les murs, ...etc.

2.3 La composition spécifique des MAP

Nous avons cité plus haut que les mortiers autoplaçants se singularisent des mortiers ordinaires par leurs propriétés à l'état frais. En effet, l'aboutissement à ces types de mortiers, n'est pas évident, mais le fruit de formulations fastidieuses, gouvernées par les exigences d'un cahier des charges. Ce dernier, s'appuie sur la recherche d'un compromis satisfaisant entre une grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation aussi bien au repos qu'en écoulement. Afin de répondre à ces exigences, le mortier autoplaçant à base de liant hydraulique doit être composé d'un volume de pâte élevé, une quantité importante de fines, un fort dosage de superplastifiant et l'utilisation éventuelle d'agent de viscosité.

2.3.1 Un volume de pâte élevé

L'utilisation d'un volume de pâte élevé (ciment+addition+eau efficace+air occlus) dans la composition des mortiers autoplaçants a pour effet de limiter les interactions inter-granulaires qui sont source de limitations vis-à-vis de l'étalement et l'écoulement (effet de dispersion des granulats les uns des autres) (Figure 2.2). Il a été constaté que les charges inertes (le calcaire) sont traditionnellement utilisés pour augmenter le volume de pâte des mortiers voir bétons autoplaçants.

Plus récemment, les adjuvants minéraux ont également été examinées (Nishibayashi et al. 1996, Ferraris et al. 2001).

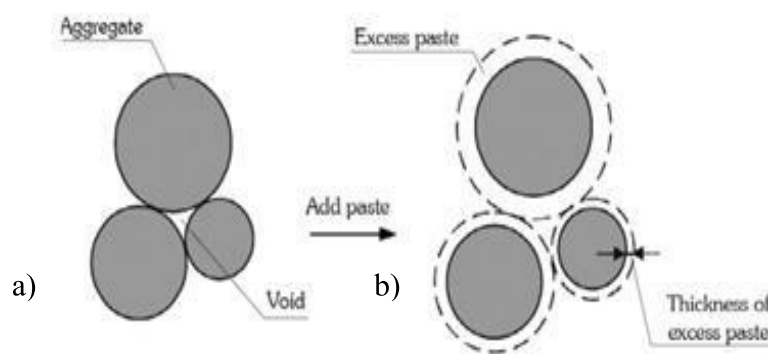


Figure 2.2 – Notion d'excès de pâte: la pâte remplit la porosité a) et écarte les granulats b). (Oh et al. 1999).

2.3.2 Une quantité importante de fines

Pour leur assurer une maniabilité suffisante tout en limitant les risques de ségrégation et de ressuage, les MAP renferment une quantité de fines supérieures à celle des MO (mortier ordinaire). Toutefois, pour éviter des problèmes d'élévation excessive de la température lors de l'hydratation ainsi que pour abaisser leur coût global, le liant est souvent un composé binaire (Yurugi et al. 2000), voire ternaire (Tangtermsirikult et al. 1991) c'est à dire ciment Portland mélangé avec cendre volante, laitier, filler calcaire, pouzzolane, ou fumée de silice.

2.3.3 Un fort dosage de superplastifiant

L'introduction de dosage relativement important de superplastifiant dans les MAP permet en premier lieu de réduire la teneur en eau tout en conservant leur grande maniabilité. Cependant, cet ajout doit être proche du dosage de saturation (De Larrard 1996) sous peine d'augmenter la sensibilité du MAP à des variations de teneurs en eau vis-à-vis de la ségrégation et du ressuage.

2.3.4 L'utilisation éventuelle d'agent de viscosité

L'utilisation éventuelle d'un agent colloïdal (dérivés cellulosiques, des polysaccharides ou des suspensions colloïdales) dans les MAP a pour rôle d'empêcher le ressuage et de limiter les risques de ségrégation des granulats en rendant la pâte plus épaisse. De façon schématique l'utilisation de ce produit semble se justifier dans le cas des MAP ayant des rapports E/L élevés car les fines ne sont pas toujours suffisantes pour fixer l'eau dans le MAP. Il semble par contre inutile dans le cas de MAP ayant des rapports massique eau/liant faible.

2.4 Les principaux constituants des MAP

Les constituants des MAP peuvent être assez différents de ceux des MO. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix. Généralement, on peut admettre les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories; les matériaux de base (ciment, granulats et eau de gâchage), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques (superplastifiants et/ou agents colloïdaux).

2.4.1 Le ciment

Tous les ciments qui sont conformes à la norme EN 197-1, conviennent pour la formulation des mortiers voire bétons autoplaçants. En effet, la sélection du type de ciment dépend de certaines propriétés souhaitées (Baron 1992) à savoir: la résistance, la durabilité., Etc. Du point de vue rhéologique, les propriétés du ciment influant sur l'écoulement de la pâte d'un

mortier sont essentiellement, la composition minéralogique, la granulométrie et la finesse (Bombed et al. 1967, Bonneau 1997). La surface spécifique du ciment utilisée pour le mortier autoplaçant doit être de l'ordre $3500 \text{ cm}^2/\text{g}$ pour le cas du CEM I et elle est plus élevée pour les ciments composés CEM II. Il est à noter que le composant C_3A du ciment doit être inférieure à 10% pour assurer une bonne maniabilité du mortier.

2.4.2 Le sable

Le sable utilisé dans toutes les formulations du mortier autoplaçant MAP est souvent le même que celui utilisé pour les mortiers voire bétons ordinaires. Il peut être issu de source naturelle (rivière, montagne et/ou artificielle (carrière)). Il est à noter que, les fines contenues dans le sable, ayant un diamètre inférieur à $0,125 \text{ mm}$, sont considérées comme une poudre. En effet, ces poudres sont utiles pour la rhéologie des mortiers autoplaçants.

2.4.3 Les fines

Les mortiers autoplaçants contiennent des quantités importantes d'additions minérales (fines) par rapport aux mortiers ordinaires. Ces additions ont fait l'objet de plusieurs recherches (Ozawa et al. 1992, Felekoğlu et al. 2007, Turk 2012). En effet, ces additions sont des particules de faibles dimensions (particules $<125 \mu\text{m}$) (Guimaraes et al. 2007) inertes chimiquement du type 1 ou bien actives (pouzzolaniques) du type 2 (Cyr 2000) (Figure 2.3).



Figure 2.3 – Principaux constituants du ciment.

2.4.3.1 Les Additions de type I

Les additions du type 1, sont des fines particules pouvant être inertes, organiques, naturels et synthétiques. Elles ont tendance à compenser le déficit en particules fines dans la mesure où les particules parviennent à remplir une partie du volume des vides du squelette granulaire, tout en améliorant les propriétés physiques des mortiers et /ou béton (ouvrabilité, rétention d'eau,...etc.).

Les fillers calcaires: Ces matériaux sont des fines minérales obtenus par le broyage des roches calcaires souvent d'origine organique (calcaires à foraminifères dont la craie, calcaires coquilliers), mais aussi d'origine chimique (calcite, pisolithique, lithographique). Caractérisés par une composition chimique dans laquelle prédomine le carbonate de calcium (CaCO_3) avec un taux dépassant 75%. L'utilisation de ces fillers peut améliorer plusieurs propriétés de la matrice cimentaire par effets physiques et/ou chimiques.

Du point de vue physique, les fillers calcaires peuvent remplacer les particules du clinker non hydratées (Ghezal et al. 2000) voire combler les vides entre les autres particules de dimensions plus importantes grâce à l'effet filler (Tsivilis et al. 1999, Courard et al. 2005, Topcu et al.,2007) et tels que le ciment et le sable (Figure 2.4).

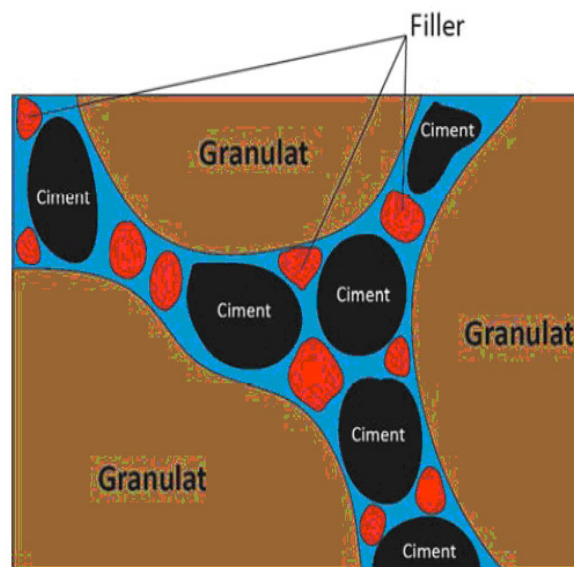


Figure 2.4 – Illustration de l'effet filler (Diederich 2010).

Chimiquement, l'ajout de calcaire dans le ciment Portland, accentue d'autant plus l'accélération de l'hydratation du C_3S dès les premiers instants que les particules sont fines et la quantité de CaCO_3 est importante (jusqu'à 15 à 20 % en masse) (Jiang et al. 1996, Caré et al. 2000).

Selon [Cyr et al. \(2006\)](#), le calcaire réagit avec le C_3A et le C_4AF pour former des carboaluminates. En effet, la formation aux jeunes âges du carboaluminate de calcium hydraté est liée à une forte concentration de $(CaCO_3)$ dans le ciment en occasionnant toutefois une augmentation des résistances mécaniques à partir de 2 jours, mais qui devenaient négligeable à 28 jours ([Soroka et al. 1976](#)).

2.4.3.2 Les additions de type II (Propriétés d'hydraulicité et/ou de pouzzolanité)

On appelle additions du type II, des ajouts minéraux actifs (substances naturelles ou artificielles) finement broyées et ajoutées au ciment, afin d'améliorer sa résistance et son pouvoir hydraulique. Ces additions regroupent les cendres volantes, les fumées de silice, le laitier de haut fourneau, le méta-kaolin, la pouzzolane naturelle et la perlite.

La fumée de silice (NF P 18-502): C'est une poudre amorphe, finement divisée. Elle contient une teneur de silice environ 90% de la composition chimique ([Aïtcin 2001](#)). En effet, la fumée de silice résulte de la production du silicium et des différents types d'alliages de ferrosilicium ou de zircon. Les particules de fumée de silice se présentent sous forme de sphères ayant des dimensions comprises entre $0.1\mu m$ et $0.2\mu m$, la dimension moyenne des particules est 100 fois plus petite que celle du ciment.

La norme distingue 2 classes de fumée de silice A et B. La classe A, est riche en silice et très fine, en raison de leurs finesses élevées et de leurs grandes réactivités avec l'hydroxyde de calcium $Ca(OH)_2$. Les fumées de silices sont utilisées comme substituts au ciment et/ou béton avec une teneur ne dépassant pas 10%.

Les avantages liés à l'utilisation des fumées de silice :

- sa grande finesse procure un effet physique de remplissage (effet filler) ([Sellevold et al. 1987](#));
- réduit le ressuage interne et externe. Cette réduction du ressuage est bénéfique à la qualité de la zone de transition pâte-granulats;
- accroissement de la résistance mécanique;

Les inconvénients liés à l'utilisation des fumées de silice :

- augmentation de la teneur en eau et le superplastifiant des mortiers et/ou béton ([Ferraris et al. 2001](#));
- effet indésirable au jeune âge, principalement pour les éléments préfabriqués nécessitant un décoffrage rapide (temps de prise long);

- accroissement du retrait endogène.

Les cendres volantes: Les cendres volantes sont des poudres très fines, constituées principalement de particules vitreuses de formes sphériques. Résultant de la combustion en centrales thermiques des combustibles minéraux solides (houille, lignite,...), ayant les propriétés pouzzolaniques. En effet, la composition chimique des cendres volantes comprend : la silice (SiO_2), l'alumine (Al_2O_3), l'oxyde de fer (Fe_2O_3) et la chaux (CaO). Elle dépend principalement de l'origine du combustible brûlé dans les centrales thermiques. La somme des teneurs en (SiO_2), (Al_2O_3) et (Fe_2O_3) ne doit pas être inférieure à 70%. La proportion en SiO_2 réactive doit constituer au moins 25% de la masse (EN 450-1 2005). Les cendres volantes peuvent être classées en trois classes principales:

- cendres volantes silico-alumineuses: teneur en silice (SiO_2) qui varie de 47 à 59%, une teneur en alumine (Al_2O_3) d'environ 22%, et une teneur en oxyde de fer (Fe_2O_3) variant de 6 à 9%;
- cendres volantes silico-calciques : teneur en silice qui avoisine 36%, une teneur en alumine de 17% et environ 6% d'oxyde de fer;
- cendres volantes sulfo-calciques qui contiennent 13 à 24% de silice, une forte teneur en calcium et soufre (59% de CaO et 15% SO_3), 5 à 18% de Al_2O_3 et 3 à 17% de Fe_2O_3 .

Les cendres volantes sont issues des centrales thermiques et sont couramment utilisées dans l'industrie des ciments et bétons, elles réduisent la demande en eau et le temps de prise (Malhotra et al. 2002). Elles abaissent la chaleur d'hydratation du liant (Tokyay 1988). Les résistances mécaniques des liants contenant les cendres volantes sont réduites aux jeunes ages (Odler, 1991). Et augmentent à long terme à cause de la réaction pouzzolanique (Hassan et al. 1998, Odler 1991).

Le laitier de haut fourneau (NF P 18-506): Le laitier de haut fourneau, est un résidu de l'industrie sidérurgique, issu du refroidissement brusque de la scorie fondue du minerai de fer. Il se présente après broyage sous forme de poudre constituée de silice (25 à 30%), de chaux (45 à 50%) d'alumine (15 à 20%), environ 10% de magnésie et d'oxydes divers de manganèse. Ils peuvent être classés en trois principaux types (Chen 2007):

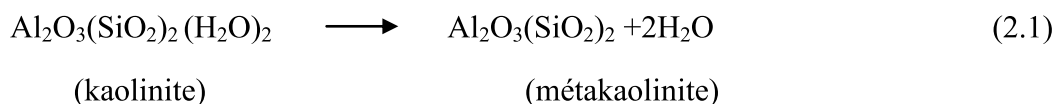
- laitiers granulés moulus: poudre finement broyée, obtenue par trempage du laitier liquide dans l'eau. Ces laitiers ont des propriétés hydrauliques lorsqu'ils sont mélangés à de la chaux, à des alcalis ou à du ciment Portland;

- laitiers granulés bouletés: pellets obtenus par refroidissement partiel du laitier à l'eau puis à l'air;
- laitiers refroidis lentement à l'air: un produit dur et dense formé en permettant au laitier de se solidifier lentement à l'air.

Les laitiers de haut-fourneau sont considérés comme des matériaux hydrauliques latents. Au cours de l'hydratation du ciment, les laitiers peuvent être activés par la Portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et par le sulfate de calcium provenant du régulateur de prise (Rafai 2008).

Le laitier présente des caractéristiques intéressantes en tant qu'addition minérale (Hinrichs et al. 1989). Selon Shi et al. (1998) le laitier de haut fourneau adsorbe le superplastifiant, ce qui impliquerait une demande plus importante en superplastifiant pour obtenir une même fluidité ou une même valeur du seuil de cisaillement. Quant à son effet sur la résistance en compression, il n'est perceptible qu'à long terme (Hogan et al. 1981) à cause de l'hydratation initiale très lente du laitier (Neville 2000).

Le métakaolin est un produit pulvérulent, partiellement amorphe. Résultant de la calcination d'une argile, kaolinite, associée à différents minéraux (phyllosilicates, quartz, oxydes de fer) en proportions variables. La calcination de la kaolinite en métakaolin (pouzzolane de synthèse), est effectuée entre 600 à 800°C. Ce traitement entraîne la déshydratation de la kaolinite dont l'équation bilan (Equ. 2.1) est comme suit :



En effet, la température de calcination dépend principalement du degré de pureté en kaolin (Gniewek 1987). La durée de traitement thermique est environ 5 heures dans un four rotatif, engendrant ainsi la transformation du système cristallin.

L'utilisation du métakaolin dans le béton, engendre une amélioration des résistances mécaniques et réduit significativement la perméabilité et le retrait (Marsh 1994).

Les pouzzolanes naturelles (ASTM 618-94) sont des matériaux de construction les plus anciens. Elles sont présentes dans plusieurs pays du monde avec des appellations différentes (verre volcanique, tufs, zéolite, rhyolite, terres de diatomées). Riche en silice et en alumine, ces matériaux une fois finement broyés, possèdent les propriétés de réagir à des températures ambiantes en présence d'eau avec l'hydroxyde de calcium pour donner naissance à des

composés hydratés suivant une réaction exothermique (Vernet et al. 1992). Par conséquent, la microstructure de la matrice sera améliorée et le béton devient plus imperméable (Shannag et al. 1995).

Plusieurs travaux (Mehta 1981, Ramezani pour 1987) ont montré que la pouzzolane naturelle est largement utilisée comme substitut du ciment Portland dans de nombreuses applications, en raison de ces propriétés avantageuses à savoir, la réduction des coûts, la réduction du dégagement de chaleur, la diminution de la perméabilité et la résistance chimique accrue.

Pavlidou (2011) a montré que les pouzzolanes sont efficaces pour la production des mortiers de réparation. En effet, leur action dans la matrice cimentaire contribue au renforcement de la durabilité et à réduction du retrait de séchage du mortier.

Certains auteurs (Ghrici et al. 2006, Ezziane et al. 2007, Kaid et al. 2009) ont étudié l'effet de la pouzzolane naturelle sur l'amélioration des diverses propriétés des mortiers frais et durcis; ils ont constaté que la pouzzolane naturelle contribue significativement à l'amélioration des caractéristiques de durabilité et de résistance à long terme.

La perlite selon l'ASTM C618 est une roche volcanique acide, vitreuse et hydratée, de couleur gris clair, verdâtre ou noirâtre dont la composition chimique est similaire à celle de la rhyolite (plus de 72% de SiO₂) (Tableau 2.1). Généralement, cette roche présente un aspect lustré avec un débit caractéristique en perle à structure concentrique en pelures d'oignon mais elle peut se présenter sous d'autres textures. Elle se singularise des autres verres volcaniques tels que la pierre ponce, les cendres volcaniques hydratées par la teneur en eau chimique de constitution de 2 à 5% dans la structure vitreuse.

Lors d'un chauffage rapide à un point approprié (900 à 1100 °C), la perlite se dilate en créant un nombre incalculable de pores, chacun ayant différentes tailles de l'ordre du micron (Figure 2.5). Ce qui la rend plus légère, tout en offrant un grand avantage en termes de résistance au feu et à la transmission du bruit, responsables de sa faible densité (Ennis 2011).

Tableau 2.1– Compositions chimiques d’une sélection de perlites typiques commercialisées (Thibaut et al. 2000).

	Grèce	Turquie	Italie	Bulgarie	Hongrie	USA			Argentine	Arménie	Russie	Japon	Chine
	Milos	Biga	Monte Sparau (Sardaigne)	Schupenata	Pálháza	No Agua (Nouveau Mexique)	Pioche (Nevada)	Fish Springs (Californie)	Rio Negro	Aragats	Sibérie	Akita	Xinyang (Henan)
SiO ₂	74,20	73,00	72,80	73,80	73,50	72,10	73,10	75,00	72,30	73,00	72,80	74,20	72,00
Al ₂ O ₃	12,30	13,80	13,80	12,8	13,00	13,50	12,80	13,20	13,40	12,40	14,15	12,90	12,31
Fe ₂ O ₃	0,95	0,70	2,10	0,56	1,80	0,80	0,70	0,70	1,00	0,70	0,17	0,68	1,34*
TiO ₂	0,08	0,20	0,30	0,07	-	0,06	0,08	n.d.	0,08	0,05	n. d.	0,06	n. d.
CaO	0,85	0,70	0,90	0,50	1,50	0,89	0,90	0,50	0,59	0,40	0,82	0,45	1,00
MgO	0,13	0,25	0,40	0,03	0,40	0,50	0,20	trace	0,30	0,10	-	0,05	0,14
Na ₂ O	4,00	3,25	3,30	3,00	3,50	4,60	3,00	4,30	3,40	4,50	2,50	4,10	3,29
K ₂ O	4,40	4,50	5,60	4,90	3,80	4,40	4,70	4,60	4,70	4,90	4,35	4,00	4,67
H ₂ O+	2,80	3,70	n. d.	4,00	3,00	3,00	3,90	3,20	3,70	3,50	?	3,30	?

n. d. : non-déterminé

* : Fe₂O₃+FeO

Source : Kadey, Jr (1983), Lu, 1998, et divers producteurs.

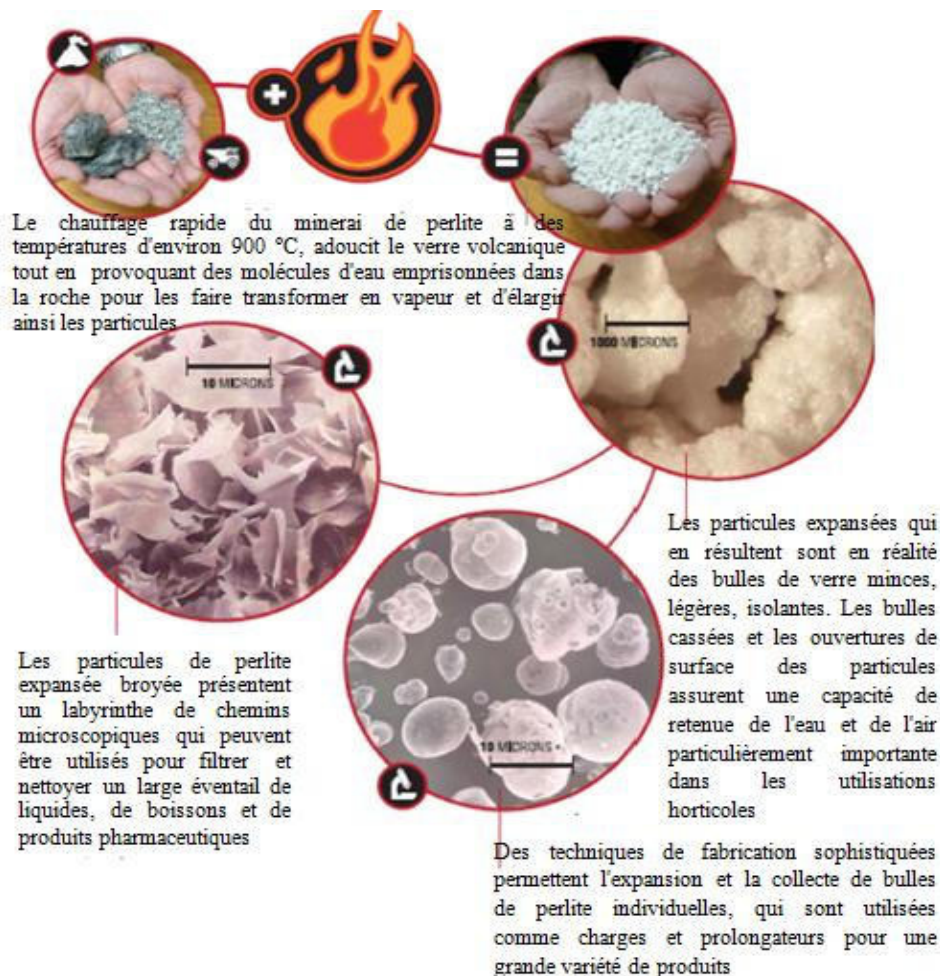


Figure 2.5 – Production de la perlite expansée (www.perlite.org).

Les mines de perlite sont facilement accessibles dans la plupart des régions du monde. Il a été rapporté que des quantités énormes d'environ 2530 et 2680 kilo tonnes de perlite ont été produites en 2014 et 2015, respectivement (Kimball 2016) (Figure 2.6).

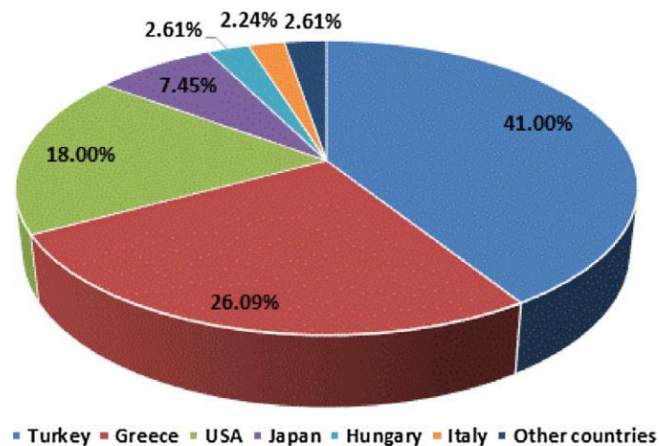


Figure 2.6 – Pourcentage de la production de perlite liée à la production mondiale totale en 2015. (Kimball 2016).

La perlite broyée (filler de perlite) peut être considérée comme un adjuvant minéral potentiel à forte activité pozzolanique pour le béton ou le mortier, en raison de la structure amorphe et des teneurs élevées en SiO_2 et Al_2O_3 (Urhan 1987, Topcu et al. 2007, Tekin et al. 2010).

Erdem et al. (2007) ont montré que la poudre de perlite possède une réactivité pozzolanique lorsqu'elle est utilisée en remplacement du ciment Portland. Yu et al. (2003) ont montré que, lorsque la perlite est incorporée dans du mortier ou bien le béton, elle peut supprimer l'expansion induite par la réaction alcalin-silice.

Une étude réalisée par Ray et al. (2007) a montré que les mélanges de mortier contenant de la perlite présentaient des caractéristiques semblables aux mortiers traditionnels contenant les cendres volantes et les fumées de silice, à une teneur de remplacement du ciment par 10%.

Au cours des dernières années, l'accent a été mis sur la valorisation de la perlite naturelle dans diverses applications industrielles, y compris le béton et le mortier (Tableaux 2.2 et 2.3). Plusieurs études ont été réalisées pour déterminer les propriétés de la poudre de perlite naturelle et son utilisation comme matériau de construction.

Tableau 2.2 – Principaux produits de substitution à la perlite et avantages comparés (Thibaut et al. 2000).

Secteur	Perlite	Produits de substitution
Filtration	Agent filtrant incompressible. Pour filtration grossière à débit élevé sans clarification (glucoserie)	Diatomite : agent filtrant et clarifiant (filtrations alimentaires), ultra-filtration (haute pression)
Bâtiment Construction	Très employée dans les bétons grâce à sa bonne résistance mécanique	Vermiculite : plus chère, de moins bonne résistance mécanique et dégradation à l'humidité, mais meilleure résistance au feu ; polystyrène (et autres dérivés du pétrole), laines de verre et de roche
Bâtiment Plâtre Ciment	Bonne isolation phonique et thermique, granularité 0,6-1,0 mm souvent plus fine que celle de la vermiculite : (80 % > 0,6 mm)	Vermiculite : plus chère mais meilleure résistance au feu, meilleure adhésion aux parois, meilleur état de surface du plâtre, meilleure absorption des déformations
Bâtiment Revêtement sols	Couleur blanche contrastant avec le liant	Vermiculite : couleur sombre plus discrète, meilleur état de surface du revêtement
Cryogénie	Faible force de rétention de l'humidité, ininflammabilité, très bonne isolation thermique pour les températures négatives	Vermiculite : plus forte rétention de l'humidité et manutention moins aisée
Horticulture	Isolation thermique atténuant les variations de température, grande capacité d'absorption de l'eau, évite le dessèchement total irréversible des tourbes	Vermiculite : plus forte rétention de l'eau et en moindre quantité ; possède une capacité d'échange cationique et fait tendre le pH vers des valeurs acides, et enfin moins bonne résistance mécanique
Charges	Le plus léger des minéraux de charge	Kaolin, sépiolite, talc, craie, zéolite, etc... sont plus denses, mais craie et zéolite ont une meilleure résistance mécanique

Tableau 2.3 – Synthétique des principales utilisations de la perlite et caractéristiques physiques correspondantes (Thibaut et al. 2000).

Secteur d'utilisation	Application	Granulométrie mm	Densité kg/m ³	Proportion volumes	Autres caractéristiques			
Construction (bâtiment)	- Isolation	0,1 - 3 30 à 60 % > 0,6	32 - 80	100 %	Conductibilité thermique très faible : 1 - 0,05 kcal/m.h. °C			
	- Granulat (bétons isolants légers)	0,15 - 4,75	120 - 136	Liant/perlite 1/7 1/6	kg/m ³ 400 480	Résistance 14 kg/cm ² 21,5	Conductivité 0,09 W/m °C	Retrait % 0,14
		dont 25-65 % > 0,6		1/5 1/4	560 640	34 47,5	à 0,14	à 0,20
	- Enduits ciment, plâtre	0,1 - 1,5 0,6 - 10 0 - 1,5	60 - 120 80 - 100 50 - 100	1 kg/5 l 1/1,5 < 5 % en poids	600 - 700	60	0,08 - 0,2 0,18	0,1
		Préfa. plâtre, bitume, silicate Na (+ Na ₂ SiF ₆)	0,1 - 3 0,1 - 3	55 - 65 80 - 120 80 - 120	160 l/200 kg 170 l/180 kg 20 kg	300 - 400 250 - 350	4 - 6 7 - 10	0,1 0,08
	Horticulture			100 - 130		Forte porosité à l'eau et à l'air, grande inertie chimique		
Filtration		70 à 80 % < 0,08 20 à 50 % > 0,05	110 - 200 (dans le filtre) 50 - 80 (à sec)		Filtre de gros débits, sans clarification			
Charges	- peinture - détergent - boues de forage - absorbant - abrasifs - emballage - additifs	- 0,1 < 0,1 - 0,010 35 à 65 % < 0,300	110 - 120 40 - 100					
Cryogénie		0,08 - 0,8	30 - 65		Ininflammable, facilité de manutention, faible force de rétention de l'humidité			
Réfractaires			100 - 150					
Fonderie			32 - 64					

Aşik (2006) a utilisé la perlite naturelle comme un agrégat léger dans le béton pour réduire le poids total des structures. Cependant, Eser (2014) a incorporé l'agrégat de perlite naturelle dans la production de béton léger de haute performance avec une résistance à la compression de 28 jours jusqu'à 50MPa.

Turkmen et al. (2007) ont utilisé la perlite comme agrégat léger dans la fabrication du béton autoplaçant BAP. Cependant, peu d'études ont été faites sur la performance pouzzolanique de la perlite et l'utilisation de ce minéral comme substitut au ciment. C'est pour cette raison que nous avons projeté dans notre travail de thèse d'élargir le champ d'application de la perlite naturelle locale en tant que matériau de remplacement du ciment, et ce pour l'élaboration d'un matériau de réparation des structures locales en béton.

2.4.4 Eau de malaxage

Pour le malaxage et la cure des échantillons des mortiers autoplaçants, l'eau potable (pH7) est suggérée. L'eau affecte de manière significative la viscosité et la capacité d'auto-compaction du mortier autoplaçant (MAP). Il s'avère nécessaire de s'écarter le moins possible de la valeur planifiée. A cet effet, le formulateur doit tenir compte de l'humidité du sable, ainsi que la teneur en eau des adjuvants.

2.4.5 Superplastifiant

Au poids moléculaire assez élevé (20000 à 30000) et de charge négative, les polymères de synthèse peuvent s'adsorber sur les sites positifs des grains de ciment, par simple attraction électrostatique. De plus, ils peuvent se fixer sur les sites négatifs par une complexation avec les ions calcium présents en solution. Les grains de ciment ont alors tendance à s'écarter les uns des autres du fait qu'ils ont tous la même charge et se couvrent d'une pellicule d'eau très mince. Ainsi, les particules sont dispersées et la proportion d'eau libre est plus importante (Figures 2.7 et 2.8).

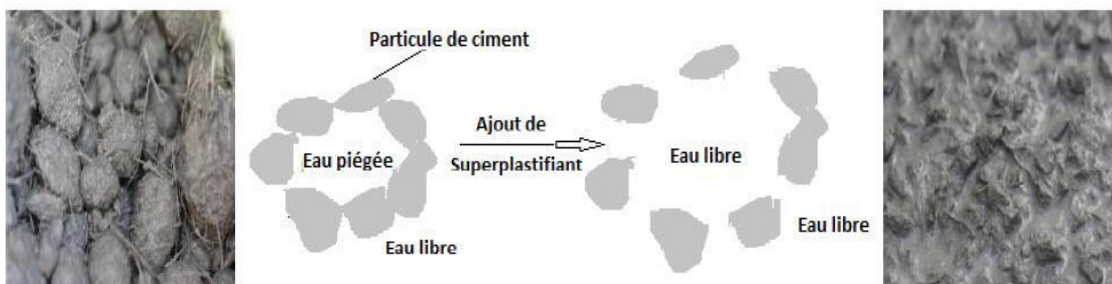


Figure 2.7 – Dispersion des grains de ciment par l'ajout du polymère (Benaïcha 2013).

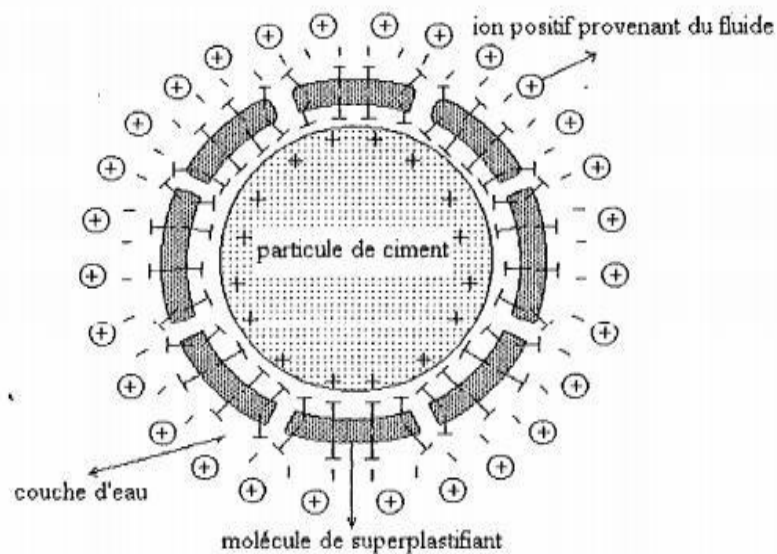


Figure 2.8 – Mode d'action d'une molécule de superplastifiant (Batimag 2005).

Etant donné que les mortiers autoplaçants doivent satisfaire deux caractéristiques inconciliables à savoir une résistance élevée obtenue par la réduction du rapport E/L et une ouvrabilité désirée. L'utilisation de superplastifiant permet de concilier la diminution de la teneur en eau, et la fluidité désirée du BAP et/ou MAP tout en conservant les performances mécaniques du matériau (Brunetaud et al. 2005) (Figure 2.9).

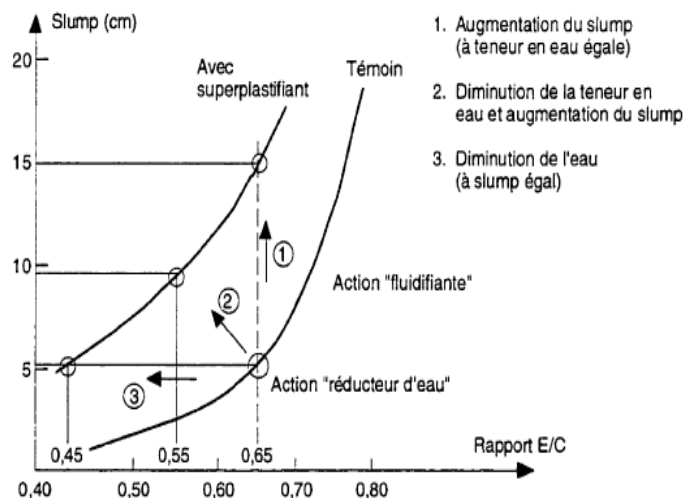


Figure 2.9 – Effet des superplastifiants sur la rhéologie des BAP (Brunetaud et al. 2005).

En effet, le degré de compatibilité d'une combinaison ciment/SP se mesure à travers le maintien dans le temps de l'étalement du MAP sans avoir un effet retardataire (Aitcin et al. 2001). L'augmentation du dosage de SP dans la formulation des mortiers autoplaçants

n'affecte pas la fluidité du mélange au delà d'une valeur caractéristique dénommée le dosage à saturation (Sugamata et al. 1999).

Aussi, il a été constaté que l'introduction retardée du SP dans le mélange de BAP, engendre un faible dosage à saturation car l'hydratation du ciment est amorcée, ce qui signifie que les hydrates moins importants consomment le SP, et par conséquent on obtient des mélanges très fluides (Bury 2002).

2.5 Les fibres et les MAP de réparation

2.5.1 Définition, propriétés, rôles et avantages des fibres

La fissuration des matériaux à base cimentaires est inévitable et est un phénomène très récurrent dans leur pathologie. A cet effet, L'utilisation de fibres dans le matériau de réparation permet d'abord de limiter la propagation de la fissuration de la nouvelle couche. En limitant l'ouverture des fissures, les fibres empêchent les fissures d'atteindre l'interface entre le nouveau et le vieux béton et donc diminuent les chances de décollement de la réparation (Granju 1996). Nous distinguons quatre grandes familles de fibres (Figure 2.10) selon leurs caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques (Tableau 2.1) à savoir; les fibres d'acier, les fibres de verre et les fibres de polypropylène (Eethar et al. 2011, Burak et al. 2008).

La sélection du type de fibres dépend de l'usage recherché (renforcement de mortier ou de béton et /ou réparation des structures), de leurs propriétés (résistance et module élevés, bonne adhérence), de leur disponibilité et de leur prix. Cependant, les fibres les plus utilisées dans mortiers de réparation sont généralement des fibres synthétiques d'origine organique (Figure 2.11).



Fibres métalliques



Bobine de fibres de carbone



Fibres de verre



Fibres de polypropylène

Figure 2.10– Différents types de fibres (El Hillali 2009).

Ces fibres sont orientées d'une manière aléatoire dans la matrice cimentaire. Elles ont le pouvoir de contrôler la propagation des fissures dues au phénomène de retrait et conduisent à une plus grande résistance de post-fissuration en raison de leur effet de couture (Mallat et al. 2011) comme le montre la Figure 2.12.

Tableau 2.4 – Principales caractéristiques physico-mécaniques des fibres couramment utilisées pour le renforcement du béton.

Fibres	Diamètre en μm	Longueur en mm	Densité	Résistance en traction en Mpa	Module de d'YOUNG en Mpa	Allongement à la rupture en %	Coefficient de dilatation en μ/m	Résistance au feu, température max. en $^{\circ}\text{C}$
Acier	5 à 500	20 à 80	7,8	1000 à 3000	$200 \cdot 10^3$	3 à 4	11	1500
Foote (ruban)	36x2000 de section	50 à 60	7,8	2500	$140 \cdot 10^3$	1		1500
Verre	5 à 20	40 à 70	2,6	1500 à 3000	$80 \cdot 10^3$	2 à 3,5	9	800
Polypropylène	10 à 200	25 à 75	0,9	400 à 750	$(5 \text{ à } 10) \cdot 10^3$	15 à 25	90	150
Polyester			1,4	700 à 850	$8 \cdot 10^3$	11 à 13		
Armiante	0,02 à 20	5	2,5 à 3,4	3000	$(80 \text{ à } 15) \cdot 10^3$	2 à 3	1	1500
Carbone	5 à 9	variable	1,7 à 2	2000 à 3000	$(25 \text{ à } 40) \cdot 10^3$	0,5 à 1,5		400 à 1500
Sisal	10 à 50	1,50	1,50	800	$130 \cdot 10^3$	3		

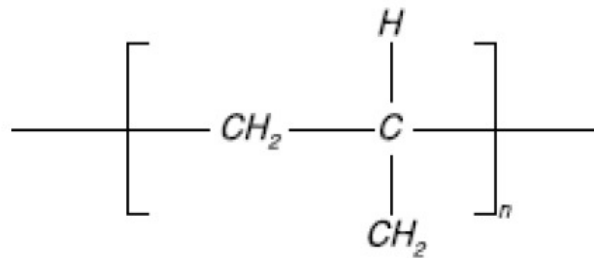


Figure 2.11–Fibre de polypropylène.



Figure 2.12 – Photo MEB montrant le pontage des fissures par les fibres de polypropylène (Mallat et al. 2011).

Rossi (1987) Rossi a proposé une description physique du fonctionnement des fibres dans une matrice cimentaire. L'auteur a pris en considération deux échelles d'action des fibres à savoir le matériau et la structure. Soit une matrice cimentaire renforcée de fibres (volume de béton et/ou mortier renforcé de fibres) soumise à une sollicitation quasi-statique en traction. La propagation de fissure passe par trois phases distinctes comme il est montré sur la courbe effort - déplacement qui décrit son comportement (Figure 2.13).

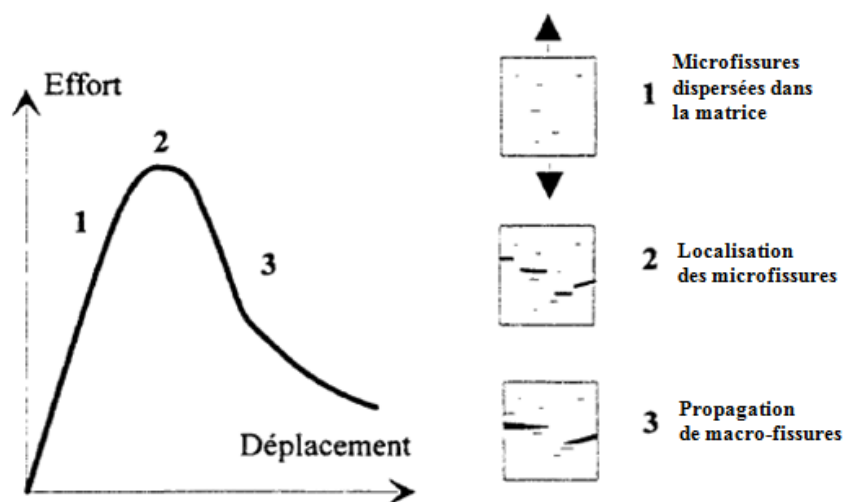


Figure 2.13 – Schématisation du comportement d'un bloc de béton soumis à une traction directe (Rossi 1987).

Dans la première phase, nous observons l'apparition et le développement des microfissures qui se répartissent uniformément dans la matrice cimentaire. A ce stade, l'utilisation d'une grande quantité de micro-fibres (fibres de petites dimensions) s'avère nécessaire.

La phase 2 correspond à une localisation des microfissures, suivie par la propagation d'une macro-fissure (phase 3). En phase 3, le pontage des macro-fissures ne peut intervenir que par des fibres macro-fibres (fibres longues et de diamètre plus important) jouant un rôle similaire aux armatures dans le béton armé, comme il est récapitulé sur la Figure 2.14.

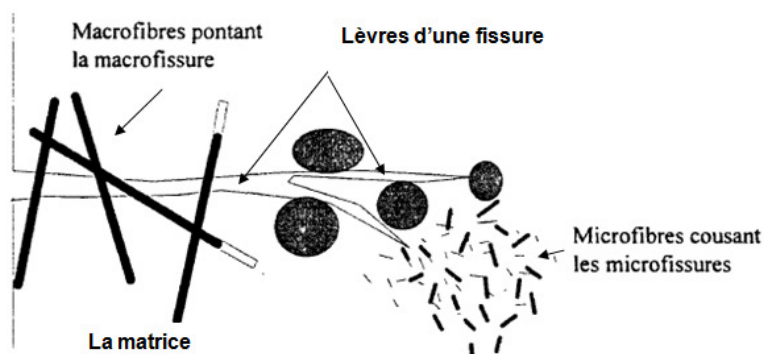


Figure 2.14 – Intérêt de l'utilisation des fibres dans la matrice cimentaire.

2.5.2 Les mortiers autoplaçants fibrés MAPF

Lorsque les fibres sont ajoutées au mortier autoplaçant conventionnel MAP, le composite peut prendre une nouvelle appellation telle que "mortier autoplaçant fibré MAPF" en anglais "fiber reinforced-self compacting mortar". En effet, ces mortiers se sont beaucoup développés au cours des deux dernières décennies depuis leur première apparition au début des années 90 et sont destinés à augmenter de manière significative la ductilité. Les mortiers autoplaçants fibrés sont composés de ciment, de sable, de l'eau, une petite quantité d'adjuvants, et une quantité optimale de fibres (Kong et al. 2003).

2.6 Utilisation des BAP dans les travaux de réparations

L'utilisation des fibres dans le béton autoplaçant BAPF et/ou MAPF avaient de nombreuses applications. En effet, ces applications sont résumées dans le [Tableau 2.5](#), ci-dessous :

Tableau 2.5 – Application des BAP de réparation fibrés dans les structures

Applications	Intérêt apporté par l'adjonction des fibres dans le béton
Canalisation et coques minces faiblement sollicitées	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges - Modification des variations dimensionnelles, lutte contre les fissurations
Dallages, chaussées en béton, Dallages manufacturés, et tous éléments structuraux soumis à la flexion	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution de 40% de l'ouverture de fissures - L'augmentation de la rigidité après fissuration - Augmentation de la résistance au cisaillement - Augmentation de la résistance à l'usure
Éléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations, ...etc.	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la charge ultime - Pas de rupture catastrophique
Structures soumises à des sollicitations pulsionnelles ex: piste d'un aéroport	<ul style="list-style-type: none"> - L'énergie absorbée est plus importante - La durée de choc est augmentée - Loi de comportement du matériau est fortement modifiée
Réparation des revêtements routiers, tablier de ponts	<ul style="list-style-type: none"> - Amélioration de la résistance aux chocs - Amélioration de la déformabilité
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux très hautes températures	<ul style="list-style-type: none"> - Remplacement avec succès du revêtement réfractaire - Diminution le coût de réparation des éléments réfractaires
Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains.	<ul style="list-style-type: none"> - Évite le travail de fixation du grillage ordinairement employé. - Diminution du coût de réparation de stabilisation des parois rocheuses et les talus,

2.7 Aperçu sur la rhéologie des mortiers

La rhéologie est une science responsable de l'étude de la déformation et de l'écoulement d'un matériau dans un milieu continu, sous l'influence des contraintes. Le seuil d'écoulement et la viscosité plastique définissent les paramètres de la loi rhéologique du fluide de Bingham. En effet, plusieurs travaux de recherches sur les bétons voir mortiers ont montré que la loi rhéologique de ces mélanges s'approchait de celle du fluide de Bingham (De Larrard 1998, Banthia 1995).

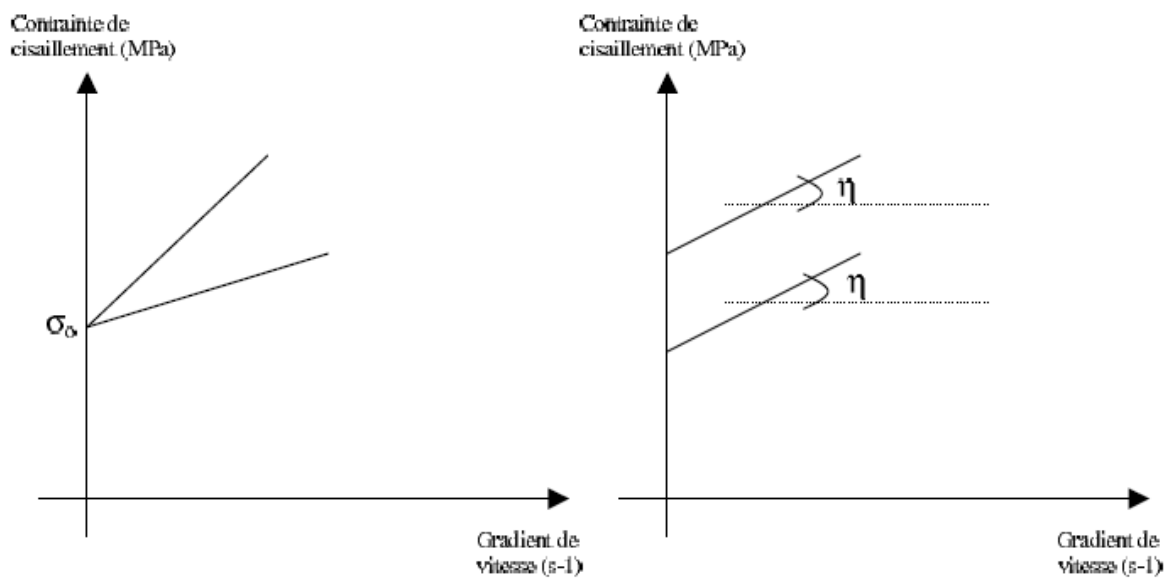


Figure 2.15 – Bétons différents qui présentent l'un des paramètres de Bingham identique (Ferraris 1999).

Ferrier (1999) rapporte qu'il est important de mesurer le seuil d'écoulement et la viscosité plastique pour les mortiers voir béton de haute performance.

Certains chercheurs s'accordent sur la nécessité de recourir à des essais empiriques différents pour établir des relations entre grandeurs spécifiques et caractéristiques rhéologiques des mortiers. Il a été admis que la viscosité est corrélée au temps d'écoulement mesuré au mini V-funnel, alors que le seuil de cisaillement dépend de l'étalement mesuré au mini cone (Felekog̃lu et al. 2006, Kasim turk 2012). Nous présenterons ces deux essais dans les paragraphes qui suivent et ce, pour la caractérisation des mortiers autoplaçants.

2.8 Caractérisation et formulation des mortiers autoplaçants MAPFs

l'absence des agrégats grossiers (gravier) dans la composition des mélanges des MAP voir des MAPF a permis d'utiliser d'autres équipements de caractérisation pour prédire les

caractéristiques d'écoulement souhaitées du mortier (viscosité plastique et seuil de cisaillement). Ceci est du grâce à la différence dans la composition par rapport au BAP et/ou BAPF. A cet effet, une méthode d'optimisation du MAP et/ou MAPF, dite méthode japonaise a été développée en utilisant des équipements a petite échelle comme le mortier entonnoir et le mini cône. Il est à signaler que des spécifications et lignes directrices pour le mortier autoplaçant ainsi que d'autres méthodes ont été développées, toutefois ces méthodes se basent toutes sur l'approche japonaise

2.8.1 Méthode d'optimisation du mortier ou méthode japonaise

Les chercheurs de l'université de Tokyo, [Okamura et al. \(2000\)](#) sont les premiers qui ont mis au point une méthode d'optimisation du mortier de BAP (méthode japonaise). Les mortiers formulés sont dosés en ciment et contenant une quantité d'eau réduite. En effet, pour garantir une déformabilité désirée au mortier, ils fixent le volume de sable égal à 40% de la densité compactée du mortier.

Dans cette méthode, la fraction de sable inférieure à 90 μm est considérée comme une poudre. En outre, l'utilisation d'adjuvants tels que les superplastifiants et les agents de viscosité permettent d'en contrôler la fluidité et la viscosité du mortier. Bien que l'utilisation des fibres peut apporter quelques modifications sur les comportements rhéologiques des BAP. Cependant, [Groth et al. \(1999\)](#) affirment que l'utilisation des fibres dans les bétons autoplaçants est envisageable et qu'il est possible de respecter les conditions exigées pour l'ouvrabilité des BAP conventionnels.

En effet, cette approche de formulation conduit toutefois à des mortiers fibrés très performants. Les propriétés de la pâte (rapport eau/poudre et quantité de superplastifiant) sont ensuite optimisées et caractérisées à l'aide d'essais sur mortiers. Ces mortiers sont caractérisés conjointement par un essai d'étalement au mini cône et un essai d'écoulement au mini entonnoir ([Figure 2.16](#)) dont découlent deux grandeurs adimensionnelles que sont:

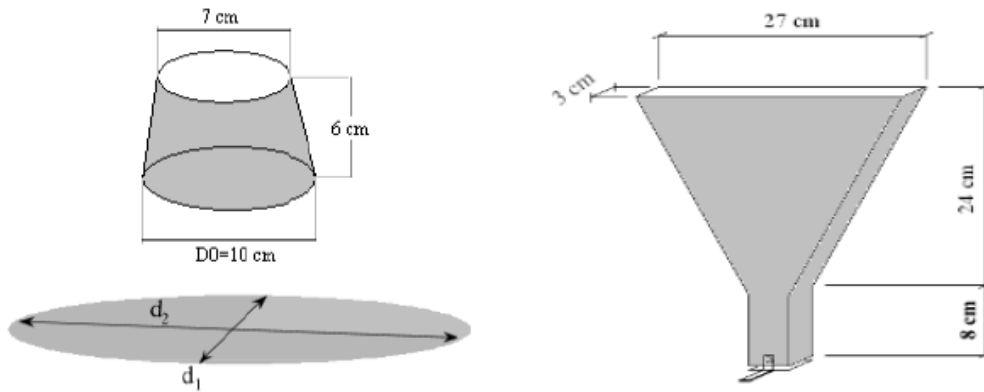


Figure 2.16– Dimensions du cône et de l'entonnoir à mortier (Rilem 2001)

$$\Gamma_m: \text{Étalement relatif, } \Gamma_m = (d^2 - d_0^2) / d_0^2 \quad (2.2)$$

$$R_m: \text{Vitesse relative d'écoulement, } R_m = 10/t \quad (2.3)$$

où,

d: diamètre de l'étalement du mortier (mm);

d₀: diamètre inférieur du mini cône (mm);

t: temps d'écoulement (s).

Les auteurs rapportent que, le terme Γ_m caractérise la fluidité du mortier (plus Γ_m est grand plus est la fluidité du mortier) cependant, le terme R_m caractérise la viscosité (plus R_m est petit, plus est la viscosité). Leurs résultats révèlent que pour obtenir un MAP acceptable il faut avoir simultanément un couple $(\Gamma_m, R_m) = (5, 1)$.

Les résultats des essais ont montré l'existence d'une corrélation acceptable entre Γ_m et R_m pour un dosage en superplastifiant donné lorsque la quantité d'eau varie (Figure 2.17). On peut donc déterminer pour chaque dosage en superplastifiant et pour chaque combinaison de liant (ciment + additions fines), le rapport R_m / Γ_m à l'aide d'un seul mortier. Une fois le mortier dont le rapport R_m / Γ_m égal à 0,2 est identifié, on ajuste la quantité d'eau.

Cette méthode qui repose sur une approche expérimentale, présente l'intérêt d'être simple dans sa mise en œuvre. Cependant, elle conduit à des mortiers riches en fines et par conséquent onéreux.

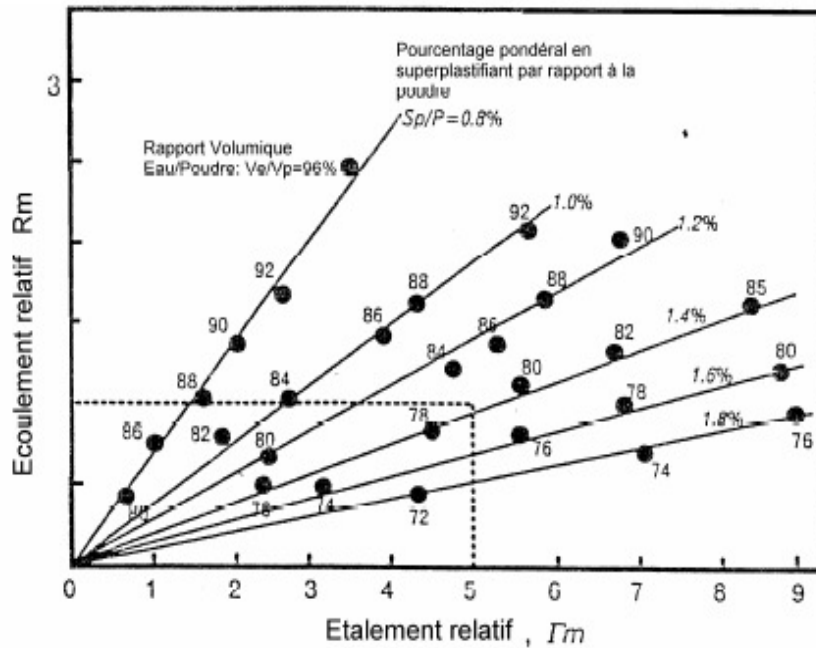


Figure 2.17 – Relation entre les termes Γ_m et R_m et pour différents dosages en superplastifiant (S_p/P) et différents rapports volumiques eau sur poudre (V_w/V_p) (Sedran 1999).

2.8.2 Spécifications et lignes directrices pour le mortier autoplaçant EFNARC

Dans le cadre de cette procédure de composition du mélange de mortier, le diamètre du sable doit être $0.125\text{mm} \leq \phi \leq 4\text{ mm}$. En effet, la teneur en sable est définie par la densité apparente. Et que le contenu du volume optimal de sable dans le mortier varie entre 40 - 50% en fonction des propriétés de la pâte. Auquel s'ajoute la détermination de l'optimum rapport eau / poudre et le dosage volumétrique de superplastifiant dans le mortier. En effet, pour obtenir les caractéristiques d'écoulement souhaitées du mortier à savoir l'étalement et le temps d'écoulement, l'EFNARC (2005) recommande d'utiliser le même appareillage proposé par Okamura et Ouchi.

A cet effet, l'étalement et le temps d'écoulement du mortier sont effectués à différents rapports eau/poudre et à différents dosages de superplastifiant. Les valeurs cibles sont l'étalement qui doit être compris entre 24 à 26 cm et de temps d'écoulement V-Funnel entre 7 à 11 secondes. Selon les spécifications de l'EFNARC, si le temps d'écoulement cible est inférieur à 7 secondes, il faut diminuer le rapport eau/poudre. En outre, si le temps d'écoulement cible se trouve au-delà de 11 secondes, le rapport eau/poudre doit être augmenté. Il est à noter que si ces critères ne peuvent pas être remplis, un essai avec un autre superplastifiant constitue une alternative préférée. Sinon il faut carrément changer de ciment (ajout différent).

2.8.3. Méthode de Nepomuceno

Récemment, [Nepomuceno \(2005\)](#) a développé une méthode de formulation de mortier de BAP. Cette méthode se base également sur la méthode conventionnelle d'Okamura. En effet, des proportions de mélanges conformes à la méthode présentée par [Nepomuceno \(2005\)](#), ont été déjà utilisés dans plusieurs travaux ([Silva et al. 2011](#), [Silva et al. 2013](#), [Bogas et al. 2012](#)).

Dans sa méthode de formulation, [Nepomuceno \(2005\)](#) fixe une plage de variation du rapport V_p/V_s entre 0,60 à 0,80, ensuite il détermine les rapports V_e/V_p et S_p/p . En effet, les valeurs donnant les propriétés cibles de l'ouvrabilité sont estimées par le biais d'un processus itératif de mélanges expérimentaux de MAP ([Figure 2.18 et 2.19](#)) où ces deux caractéristiques sont quantifiées au moyen d'un mini-cône et d'un mini-entonnoir. Ainsi les paramètres d'ouvrabilité sont ajustés dans la cible par rapport à l'étalement (G_m) et la vitesse d'écoulement relative (R_m). Les approximations successives aux valeurs cibles de l'ouvrabilité peuvent ainsi être obtenues, à savoir:

- L'étalement (slump-flow), en utilisant le mini cône d'écoulement pour les mortiers: le diamètre moyen de la galette (D_m) doit se trouver entre 251 et 263 mm ou bien la valeur de G_m entre 5,30 et 5,90.
- Et la fluidité, en utilisant la mini entonnoir pour les mortiers: le temps d'écoulement (t) doit se trouver entre 7,69 et 8,77 s ou bien la valeur de R_m entre 1,14 et 1,30 s^{-1} .

Des corrections sont apportées aux paramètres mentionnés ci-dessus, par le biais d'un processus itératif, soit en faisant varier V_w/V_p et maintenir le rapport S_p/p constant. Ou bien en faisant varier le rapport S_p/p et maintenir V_w/V_p constant. Des approximations successives des valeurs cibles de G_m et R_m sont ainsi obtenues ([Figure 2.20](#)).

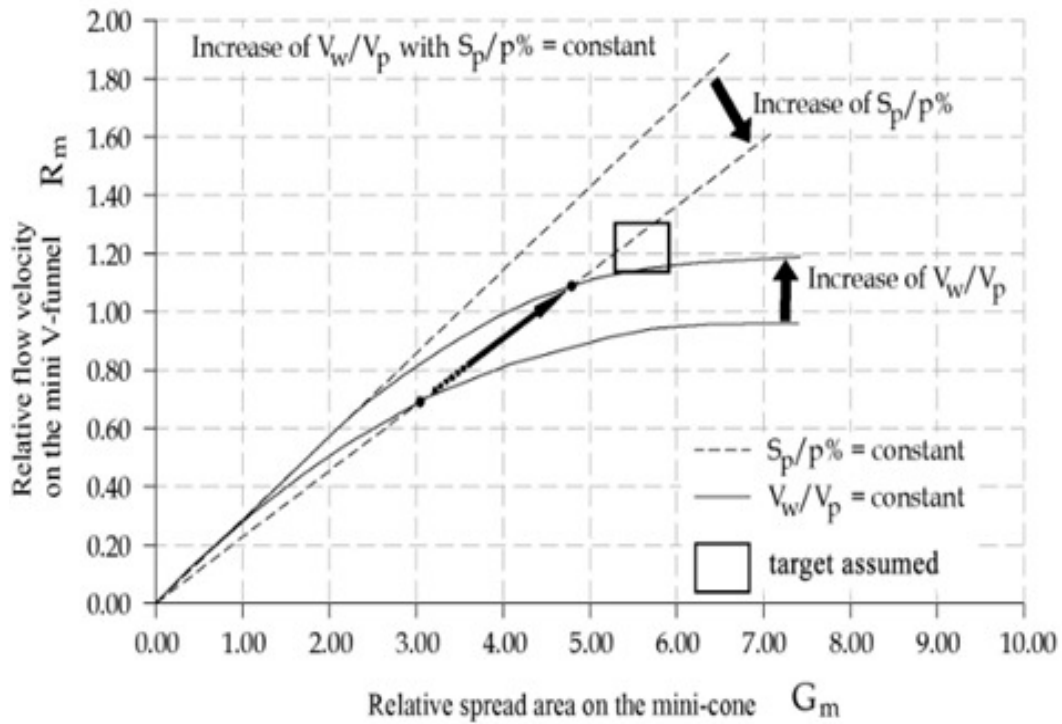


Figure 2.18 – Changements dans les paramètres de maniabilité avec l'augmentation de V_w / V_p , en gardant $s_p/p\%$ constant (Nepomuceno 2005).

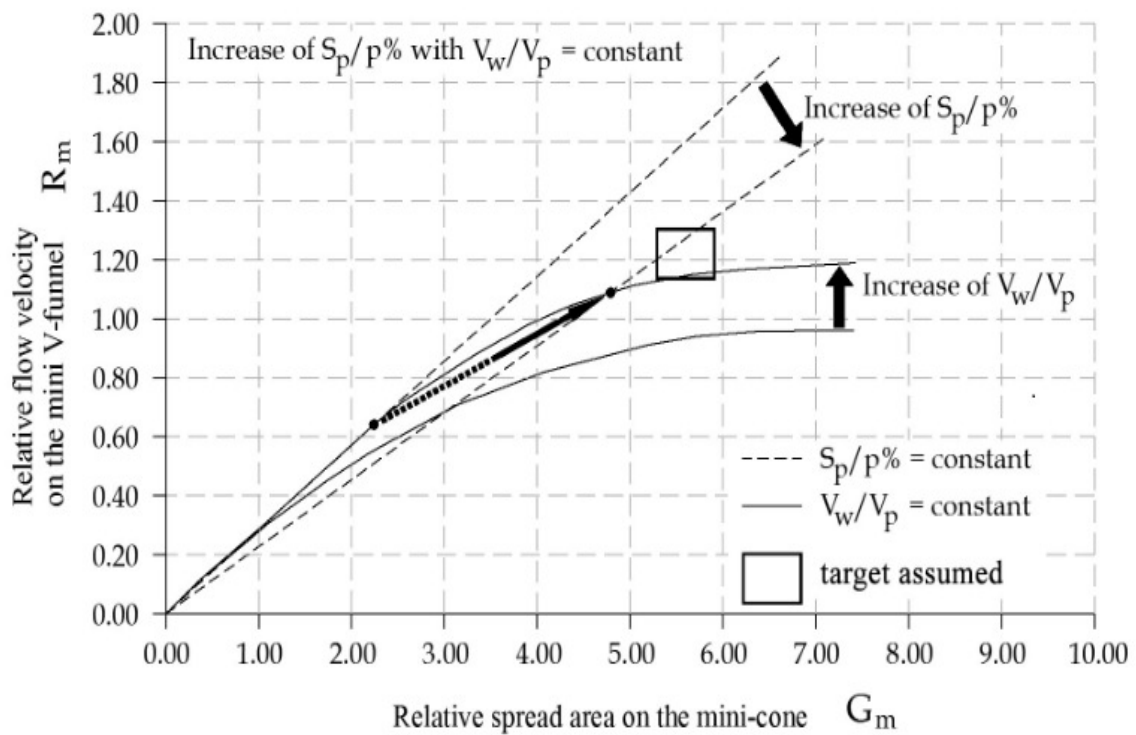


Figure 2.19 – Changements dans les paramètres d'ouvrabilité avec l'augmentation de la S_p / p , en gardant V_w / V_p constante (Nepomuceno 2005).

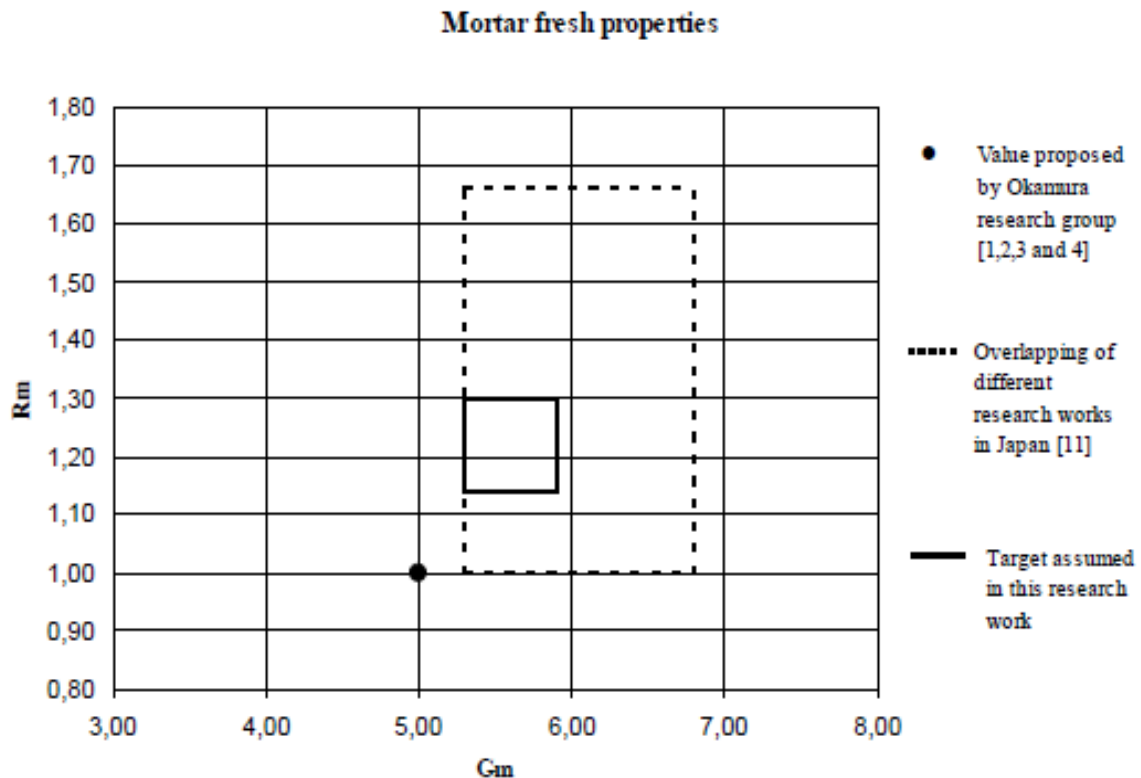


Figure 2.20 –Intervalle admissible de variation pour les propriétés fraîches de mortiers.

2.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons brièvement décrit un mortier de technologie nouvelle, largement utilisé pour la réparation du béton. Comme son nom l'indique, le mortier autoplaçant MAP (Self Compacting Mortar), qui apporte une aisance dans la mise en œuvre du fait qu'il s'écoule sous son propre poids avec un débit suffisant et contourne aisément un obstacle en zones confinées (densité importante de ferrailage, recoins...etc.).

La littérature nous a aussi montré que le MAP, se distingue du mortier ordinaire MO, par la présence de quantités importantes d'éléments fins ainsi que de fluidifiants. Ce qui leurs confèrent les propriétés autoplaçantes (une grande fluidité, une forte résistance à la ségrégation et au ressuage). Cependant, la mise au point d'une formule de MAP reste difficile.

De nos jours, une diversité de techniques de compositions s'est développée pour la formulation des MAP. Toutefois, toutes les méthodes reposent sur une approche expérimentale et nécessitent de disposer d'un cahier des charges précis sur les performances à obtenir sur le mortier à l'état frais et à l'état durci.

Le troisième chapitre est une étude de la bibliographie qui traite l'adhérence des mortiers de réparation sur le substrat de béton.

Chapitre 3:

COMPATIBILITÉ DES MORTIERS AUTOPLAÇANTS DE RÉPARATION

3.1 Introduction

La réussite d'une réparation se résume principalement en termes d'adhérence du nouveau matériau qui est évolutif dans le temps sur l'ancien matériau quasiment stable dans le temps (substrat).

Une philosophie toujours répandue est que le matériau de réparation doit être similaire au matériau d'origine, suivant le principe fondamental de « Repair like with like » (Emmons et al. 1995). A cet effet, les spécialistes conseillent de suivre cette approche qui consiste à réparer avec un matériau similaire au matériau d'origine (composition, propriétés), pour assurer la pérennité des structures. D'autre part, Pelletier (2003) rapporte que l'adhérence est intimement liée à la compatibilité des matériaux.

3.2 Compatibilité entre les matériaux de réparation et le substrat

La compatibilité dans un système de réparation (Figure 3.1) est défini comme étant un équilibre entre les propriétés physiques, chimiques et électrochimiques et déformationnelles du composite (matériau de réparation/substrat). Cela veut dire qu'en tout état de cause la réparation ne doit pas être compromise aux sollicitations dues aux changements volumétriques, aux processus chimiques et électrochimiques (Figure 3.2).

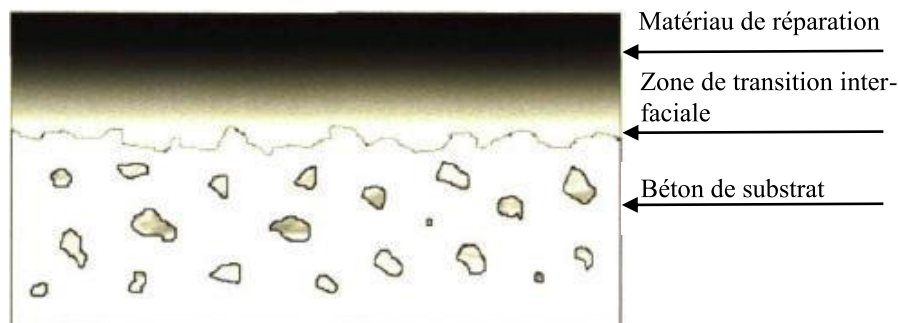


Figure 3.1– Modèle idéalisé d'un système de réparation (Emmons 1996).

Généralement, la fissuration du matériau de réparation se produit après avoir effectué les travaux de réparation. Cette anomalie est le résultat typique d'une incompatibilité du matériau de réparation avec le substrat de béton. Il s'est avéré difficile de déterminer avec exactitude la cause des dégradations des réparations.

Une étude a été réalisée dans le cadre de Rehabcon (2004) a révélée que plus de 75% des dégâts étaient causés par une conception incorrecte (32%), un mauvais diagnostic (12%), une mauvaise mise en œuvre (16%) et le choix inadéquat du matériau de réparation (32%) (Figure

3.3). En effet, le tableau 4 résume les exigences générales de matériaux de réparation pour la compatibilité structurelle.

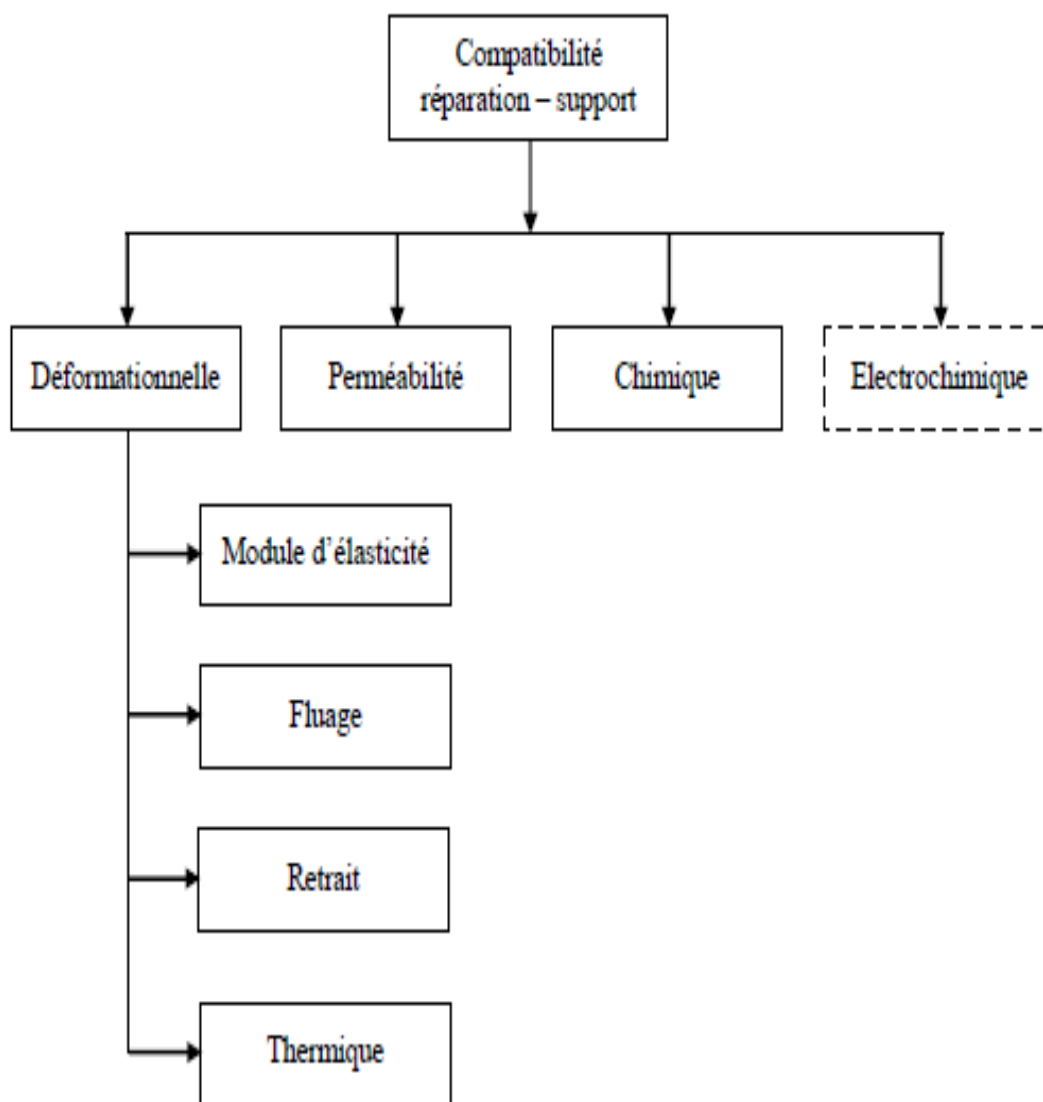


Figure 3.2 – Facteurs affectant la compatibilité dans un système de réparation (Emmons et al. 1996).

A priori, les MAPFs démontrent un potentiel prometteur pour mettre en œuvre des réparations durables. Il a été rapporté que les BAP et/ou MAP se démarquent par rapport à certains mortiers par un grand potentiel de fluage. En outre, des observations sur le terrain au cours des dernières années témoignent d'un très bon comportement de ces bétons voir mortiers à la fissuration (Fay et al. 2003).

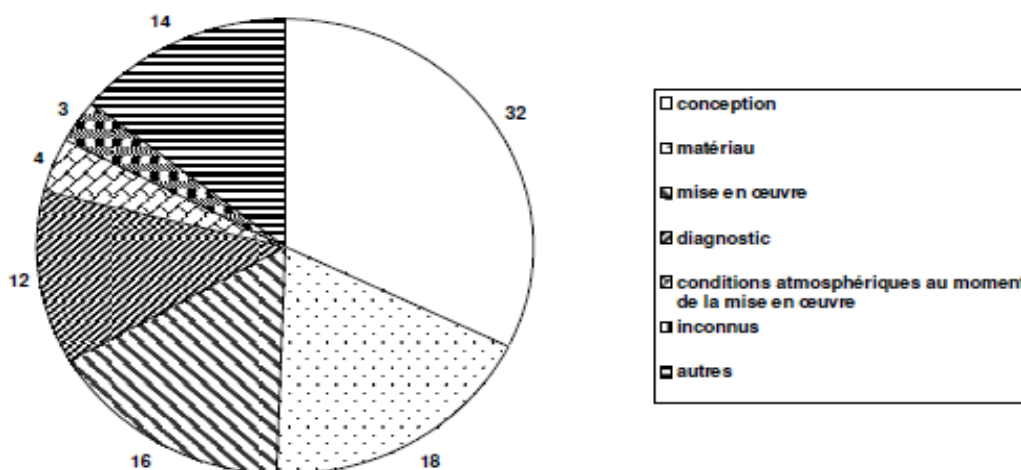


Figure 3.3 – Causes des dégradations des réparations

Tableau 3.1– Conditions générale pour une compatibilité mécanique et dimensionnelle (Vaysburd 2004).

Propriétés	Relation entre mortier de réparation R et béton de support C
Résistance en compression	$R \geq C$
Module d'élasticité	$R \approx C$
Coefficient de dilatation thermique	$R \approx C$
Resistance en traction	$R \geq C$
Retrait	$R < C$
Adhérence	$R > C$

3.3 Facteurs influencent sur la compatibilité des matériaux de réparation

3.3.1 Propriétés à l'état frais

Les propriétés requises à l'état frais pour une réparation durable sont principalement liés à l'ouvrabilité du matériau de réparation. Plusieurs chercheurs (Ye et al. 2007, Poppe et al. 2005, Sahmaran et al. 2006) ont montré que l'utilisation des additions minérales ont tendance à améliorer la maniabilité avec la teneur en ciment réduite. Ces dernières années l'attention a été focalisée sur l'utilisation de la perlite comme matériau de remplacement du ciment, pour la formulation des mélanges de mortier. A cet effet, plusieurs travaux relatifs à la rhéologie de ces mortiers ont été menés (Tableau 3.2).

Tableau 3.2 – Effet de la perlite sur l'ouvrabilité et le temps de prise des mortiers et bétons

Référence	Quantité de perlite (%)	Taille (mm)	Type	Effet
(Tükmen et al. 2007)	5, 10 et 15	0-4	Béton	Réduit l'ouvrabilité
(Karakoç et al. 2010)	7.5, 15, 22.5 et 30	2	Béton	Augmente l'ouvrabilité
(Rashad et al. 2014)	10-50	0.15-11	Béton	Augmente l'ouvrabilité
(Oktay 2015)	10 et 50	0.15-11	Béton	Augmente l'ouvrabilité
(Sriwattanapong et al. 2013)	30, 40 et 50	0.0778	Béton	Augmente l'ouvrabilité
(Darweesh 2014)	5, 15 et 25	0.065	Mortier	Augmente le temps de prise
(Erdem et al. 2007)	20 et 30	0-0.19	Pate	Augmente le temps de prise

Les résultats résumés dans le [Tableau 3.2](#) montrent que l'inclusion de la poudre de perlite dans les mélanges de mortiers et/ou bétons a engendré une augmentation de leur maniabilité. L'amélioration de l'ouvrabilité pourrait être liée à l'augmentation de la teneur en air, avec l'inclusion de la poudre de perlite, ce qui a conduit à une augmentation de l'étalement ([Yang et al. 2000](#)).

En étudiant la rhéologie des mélanges cimentaires contenant différentes additions minérales en remplacement du ciment (20% et 30%) ([Figures 3.4 et 3.5](#)). [Ghafari et al. \(2014\)](#) ont constaté que le mélange contenant la pierre ponce présente une augmentation plus importante du seuil de cisaillement et de la viscosité plastique avec le temps, par rapport aux mélanges contenant la perlite, les cendres volantes ainsi que le mélange de référence, quelle que soit la température (10 °C, 23 °C et 35°C). Les résultats montrent également que l'incorporation de la perlite et des cendres volantes a réduit le seuil de cisaillement et de la viscosité plastique des mélanges avec le temps, par rapport au mélange de référence. Comme on le constate, la zéolite a montré la plus faible rétention d'ouvrabilité, même avec des taux de remplacements inférieurs. En outre, le mélange contenant la pierre ponce a connu une mauvaise rétention de l'ouvrabilité, quel que soit le taux de remplacement. L'incorporation de perlite et des cendres volantes ont donné lieu à une excellente rétention de la maniabilité, même à avec des taux de remplacement élevés (30%). Cependant, par rapport aux cendres volantes, l'ajout de perlite s'est avéré plus efficace pour réduire le seuil de cisaillement à une température inférieure (10 °C) et supérieure (35°C). Comme prévu, le seuil de cisaillement et la viscosité augmentent plus rapidement avec l'augmentation de la température, mais pour les mélanges contenant du

ciment ordinaire, des cendres volantes et de la perlite, aucune différence substantielle dans la rétention de la maniabilité n'est observée pour chaque température.

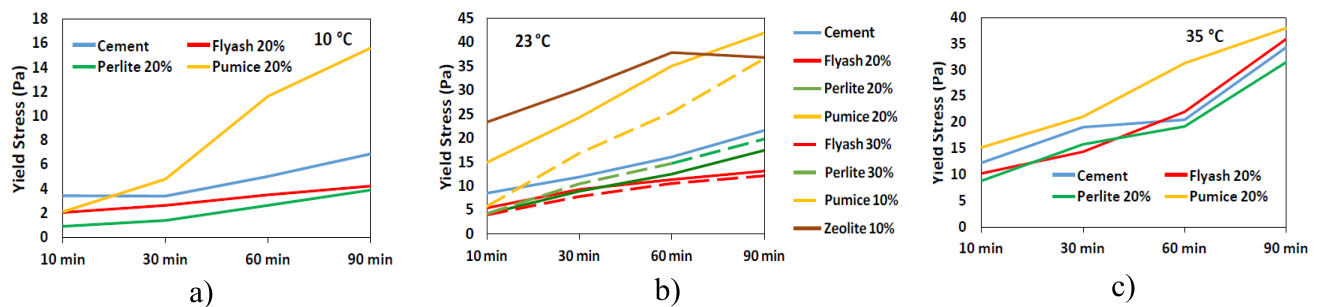


Figure 3. 4 -Seuil de cisaillement par rapport au temps de la pâte de ciment avec différents différentes additions minérales: a) à 10 °C, b) à 23 °C et c) à 35 °C (Ghafari et al. 2014).

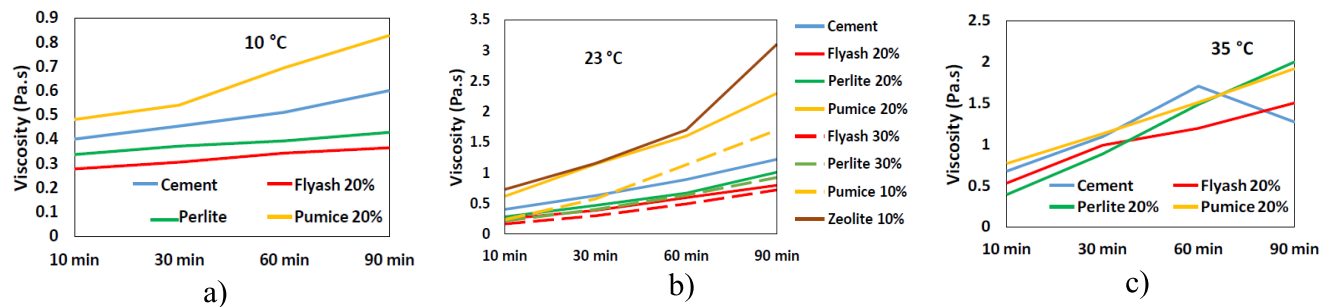


Figure 3.5 -Viscosité plastique par rapport au temps de la pâte de ciment avec différentes additions minérales: a) à 10 °C, b) à 23 °C et c) à 35 °C (Ghafari et al. 2014).

Récemment le MAP a été utilisé à grande échelle dans les travaux de réparations. Cette large acceptation des MAP dans les réparations est principalement liée au rapport coût-efficacité et la facilité de la coulabilité du mortier MAP.

En préparant des mélanges de mortiers autoplaçants contenant différentes additions minérales (Figure 3.6). Fakhretaha et al. (2003) ont constaté que les mélanges contenant la perlite nécessitent peu de superplastifiant comparativement aux autres mélanges, et ce pour aboutir l'écoulement cible 25 ± 1 cm spécifié par l'EFNARC.

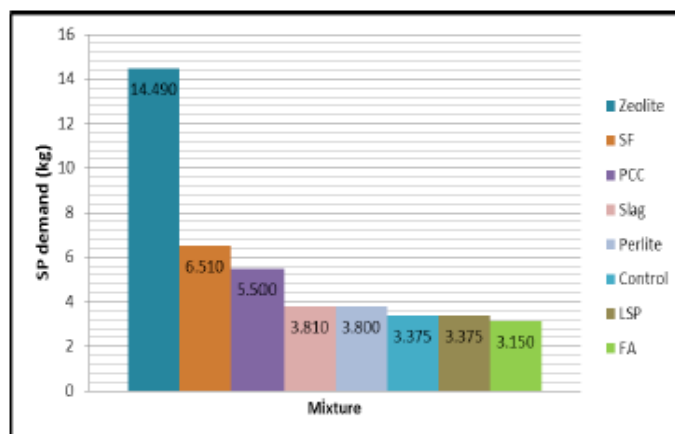


Figure 3.6 – Besoin en SP pour chaque mélange (par mètre cube) (Fakhretaha et al. 2003)

De leur côté, [Sahmaran et al. \(2005\)](#) rapportent qu'il est avantageux de combiner les avantages des fibres avec celles du MAP ordinaires, afin d'améliorer les propriétés à l'état frais (haute maniabilité). En général, les caractéristiques autoplaçantes peuvent être obtenus avec des teneurs en fibres limitées et la teneur en pâte suffisante pour permettre le mouvement des fibres dans le mélange.

3.3.2 Propriétés mécaniques

3.3.2.1 Résistance en compression

Pour permettre aux structures réparées de supporter les charges qui leurs sont appliquées, il faut formuler un matériau de réparation dont la résistance à la compression est comparable à celle du béton de substrat.

En effet, après avoir passé en revue les formulations des MAP, nous avons constaté que dans la majorité des cas, ces mortiers ont des résistances en compression presque comparables à celles des mortiers ordinaires ([Holschemacher 2004](#), [Klug et al. 2003](#), [Nikbin 2014](#)). [Sedran \(1995\)](#) a rapporté que les bétons autoplaçants peuvent présenter une gamme étendue de résistances à la compression en jouant sur la nature du liant qui les compose (ciment, additions) et le rapport E/L.

En outre, [Hwang \(2006\)](#) a démontré qu'un MAP formulé avec un rapport E/C de 0.35 présente un potentiel de fissuration plus grand qu'un MAP formulé avec un E/C de 0.42. Un rapport E/C = 0.4 minimal, est conseillé pour les applications de réparation ([ACI 237 2005](#)). D'autres paramètres tel que l'utilisation d'additions minérales (fumée de silice, cendres volantes, laitier....etc.), l'adjuvant superplastifiant utilisé (polynaphtalène, sulphonate ou

polycarboxylate) ou les méthodes de cure appliquées peuvent affecter la résistance en compression des MAP.

Plusieurs chercheurs sont unanimes que l'incorporation de la poudre de perlite dans les mélanges de mortiers a tendance à diminuer les résistances mécaniques aux jeunes âges. Cependant, ces résistances s'améliorent à long terme.

Selon [Erdem et al. \(2007\)](#) le ciment mélangé avec de la poudre de perlite peut provoquer une perte de résistance à un âge précoce comparativement au ciment Portland pur. Cette résistance s'améliore à long terme en raison de la réaction pozzolanique.

[Isikdag \(2015\)](#) a rapporté que l'incorporation de la perlite (taille 0-2 mm) dans les mélanges de mortiers a engendré des réductions des valeurs de résistance à la compression et à la flexion de ces mortiers.

[Ray et al. \(2007\)](#) ont étudié l'influence de la poudre de perlite, des cendres volantes et de la fumée de silice sur les propriétés à l'état durci des mélanges de mortiers. Leurs résultats ([Figure 3.7](#)) ont montré qu'à l'âge de 28 jours, la valeur de résistance à la compression du mortier incorporant la perlite correspond à celle de l'échantillon témoin et est meilleure que celle du mortier contenant les cendres volantes.

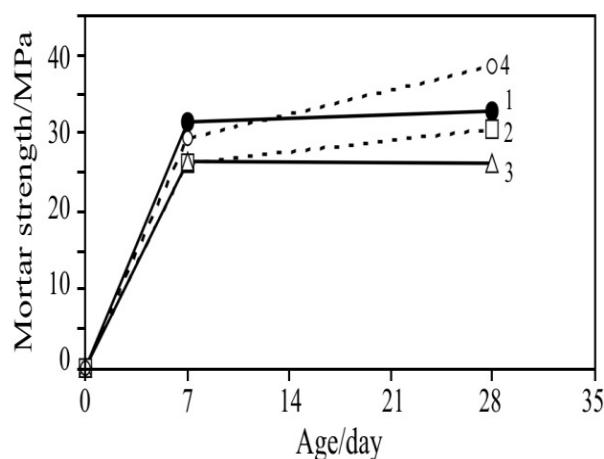


Figure 3.7 – Développement des résistances des mélanges de mortiers : 1-contrôle, 2-perlite, 3- cendres volantes et 4- fumée de silice ([Ray et al. 2007](#)).

Après l'âge de 7 jours, la valeur de résistance du mortier contenant la perlite était comparable à celle du mortier contenant les cendres volantes, mais légèrement inférieure à celle du mortier témoin. Les auteurs ont attribué l'amélioration de la résistance à 28 jours, du mortier de perlite à la réaction d'hydratation qui continue à produire d'avantage, du gel C-S-H.

Yu et al. (2003) ont étudié l'évolution de la résistance à la compression de trois mélanges de mortier contenant 20%, 30% et 40% de poudre de perlite à 3, 28 et 90 jours. A l'âge de 90 jours, les résultats de résistance à la compression ont montré des augmentations d'environ 34%, 24% et 8%, respectivement, par rapport au témoin. Ce qui confirme la réactivité pouzzolanique de la poudre de perlite.

Les résultats de l'étude menée par Turanli et al. (2005) ont indiqué que le remplacement du ciment par des teneurs élevées de poudre de perlite tend à diminuer la résistance au jeune âge par rapport au témoin.

Uzal et al. (2007) ont rapporté que le mélange de béton contenant de la poudre de perlite présentait une faible résistance en compression par rapport au mélange témoin à tous les âges jusqu'à 91 jours.

Pantawee et al. (2012) ont préparé des mélanges de mortiers contenant 0, 5, 10, 15, 20 et 25% de poudre de perlite en remplacement du ciment (Figure 3.8). Les résultats ont montré que le remplacement du mortier par 5% et 10% de perlite a donné une augmentation plus élevée de la résistance à la compression que le mortier témoin. Cette augmentation est de 40,0 et 41,5 MPa à 60 jours et 43,0 et 46,5 MPa à 90 jours, respectivement. La teneur optimale qui a contribué une résistance élevée était de 10% de poudre de perlite.

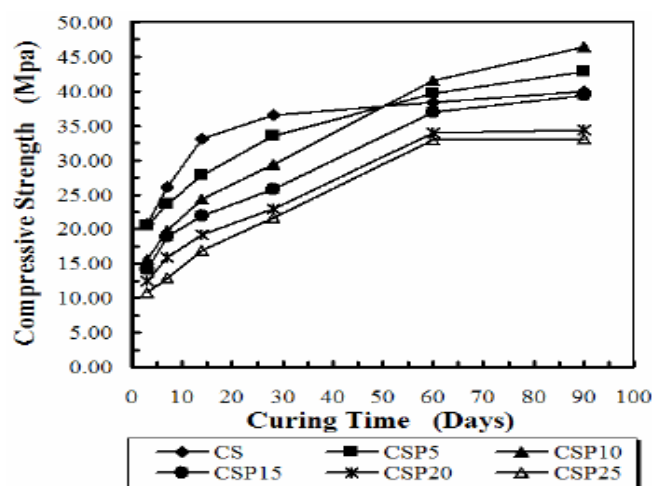


Figure 3.8 – Evolution de la résistance en compression des mortiers en fonction de l'âge (Pantawee et al. 2012)

Lukasz et al. (2016) ont étudié l'influence des déchets de perlite comme adjuvant minéraux pour la fabrication des mortiers. A cet effet, le ciment a été remplacé par 20 et 35% de déchets de perlite. La Figure 3.9 montre qu'après l'âge de 28 jours, les valeurs de résistance en

compression de ces mortiers dépassent celles du mortier de contrôle de 10 et 11%, respectivement, pour les mortiers contenant 20 et 35% de déchets de perlite.

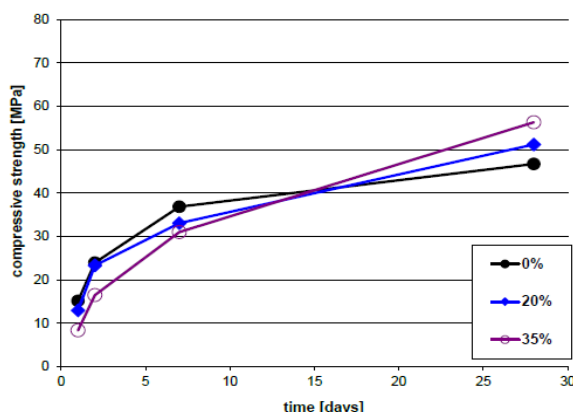


Figure 3.9 – Influence du remplacement du ciment par le déchet de perlite sur le développement des résistances à la compression des mortiers (Kotwica et al. 2016).

Sengul et al. (2011) ont constaté qu'il existe une bonne corrélation entre Les valeurs de résistances en compression des mélanges cimentaires et leurs densités. En effet, plus la densité augmente plus est la résistance (Figure 3.10).

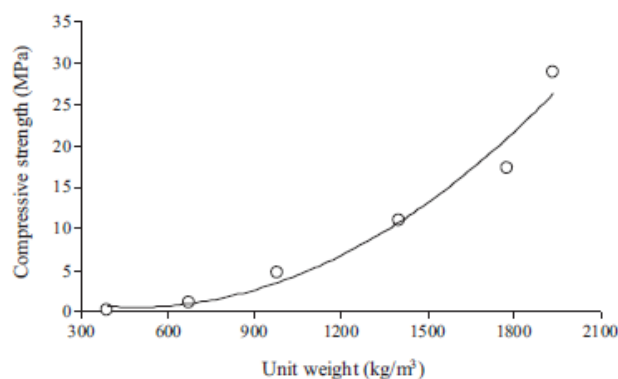


Figure 3.10 – Effet de l'agrégat de perlite sur la résistance en compression des mélanges (Sengul et al. 2011).

Erdogan et al. (2013) ont rapporté que le remplacement du ciment par 25% et 50% de perlite (finesse de Blaine 458 m²/kg) dans les mélanges de mortiers, a engendré des réductions de résistance en compression. En effet, pour le taux de remplacement du ciment par 25% de poudre de perlite, ces chercheurs ont constaté des réductions de résistances de 34.33, 5.71, 8.11 et 4.45%, respectivement aux échéances de 1, 3, 7 et 28 jours. Cependant, l'inclusion de 50% de perlite a entraîné des réductions de 50.74 et 48.57, 45.79 et 32.29%, respectivement. A long terme (56 et 91 jours), l'inclusion de 25% de perlite a engendré une amélioration de la

résistance en compression de 5.77 et 4.41%, respectivement. Tandis que l'inclusion de 50% de perlite a réduit la résistance en compression de 25.2% et 17.11%, respectivement.

Darweesh (2014) a rapporté que les pâtes de ciment contenant 5 à 15% de perlite (taille 63 μ m) en remplacement du ciment, ont connu des valeurs de résistances en compression élevées, à l'âge de 1, 3, 7, 28 et 90 jours. Cependant, l'inclusion de 25% de perlite a fait chuter ces dernières. En effet, l'augmentation des valeurs des résistances à l'âge de 28 jours, est de 3.4 et 8% respectivement, pour les taux de remplacement de 5 et 15%. Alors, une réduction de résistance d'environ 6.2% a été obtenue pour le taux de remplacement du ciment par 25%.

Concernant l'inclusion des fibres dans les mélanges de mortiers, les résultats rapportés par plusieurs chercheurs sont contradictoires.

Sahmaran et al. (2005) ont constaté que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation du volume des fibres surtout dans le cas où les fibres sont de petite taille.

Yadegaran et al. (2007) ont constaté que l'inclusion des fibres de type synthétiques ayant 12 mm en longueur dans un BAP réduit la résistance en compression à différents âges.

Banthia et al. (1995) ont effectué des essais de compression sur des cylindres de 25x50 mm en béton renforcé par des micro-fibres. Ils ont conclu que l'inclusion des fibres n'a pas amélioré la résistance même avec des dosages élevés en microfibres (Figure 3.11).

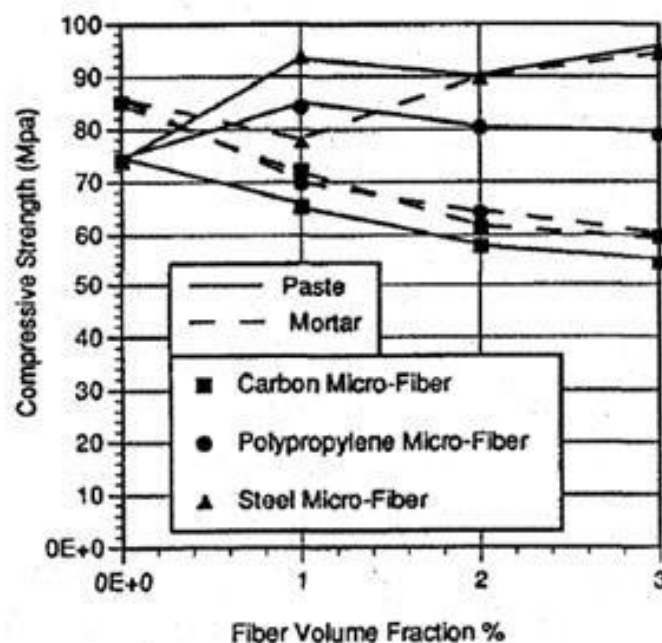


Figure 3.11 – Influence du dosage en micro-fibres sur la résistance en compression (Banthia et al. 1995).

3.3.2.2 Résistance en traction

Avant d'entamer les travaux de réparation du béton, il est intéressant de choisir un matériau dont la résistance à la traction soit supérieure à celle du béton à réparer. Cela peut réduire son potentiel de fissuration et retarder donc sa fissuration dû au retrait. A cet effet, les MAPF sont préférés pour ce type de travaux en raison de leur résistance à la traction élevée par rapport au béton ordinaire. Ceci est dû à l'utilisation de fibres (fibres de polypropylène) qui servent au pontage des fissures.

Certains chercheurs ont montré que l'association des fibres synthétiques et des fibres métalliques peut donner aux MAP des comportements plus ductiles que dans le cas des bétons et/ou mortiers fibrés seulement avec des fibres métalliques (Bantia et al. 1995).

Druta (2003) a constaté que l'utilisation généralisée d'ajouts cimentaires contribue à la densification de la matrice cimentaire et à la réduction de la faiblesse de la zone de transition interfaciale.

3.3.2.3 Module d'élasticité

Un matériau de réparation à faible module d'élasticité se déforme plus qu'un matériau ayant un module d'élasticité élevé (béton existant), sous une charge axiale appliquée parallèlement à la zone de transition (Figure 3.12). La différence de rigidité entre la réparation et le support (Figure 3.12) induit des sauts dans le profil des contraintes sur la section (Figure 3.13).

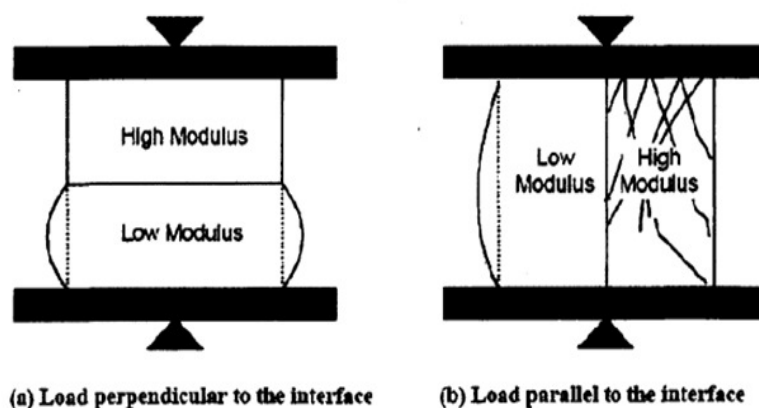


Figure 3.12 – Effet de l'incompatibilité du module de Young (Vaysburd et al. 2004)

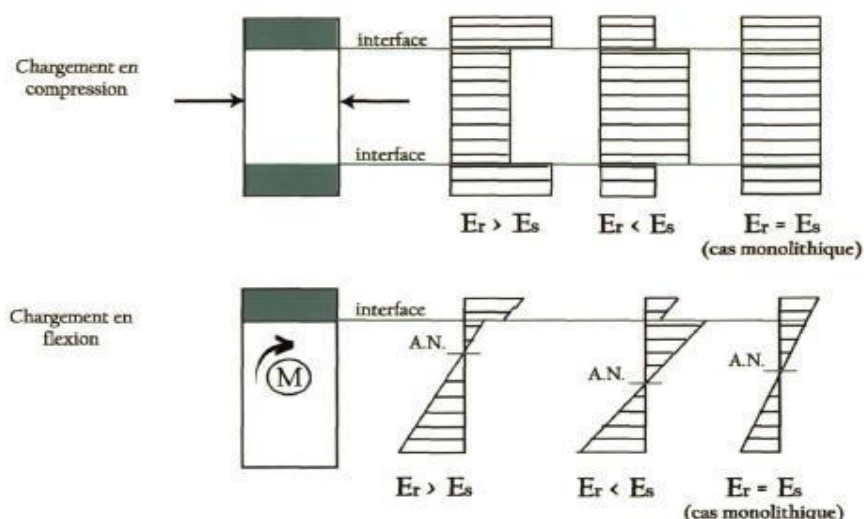


Figure 3.13 – État des contraintes sur des sections réparées soumises à des chargements de compression et flexion pour des matériaux homogènes, isotopes et linéaires (adhérence parfaite).

En considérant un contact parfait entre les deux matériaux, la [Figure 3.13](#) illustre les profils de contrainte théoriques sur une section réparée soumise à un chargement axial de compression et de flexion, suivant que le module élastique du matériau de réparation est supérieur, égal ou inférieur à celui du béton du support. En effet, pour que le matériau de réparation soit mécaniquement compatible avec le béton de substrat. Il faut que son module d'élasticité E soit inférieure à celui du substrat ([Tableau 3.1](#)).

L'existence d'une différence entre les modules d'élasticités de ces deux matériaux, engendre des sauts dans le profil des contraintes sur la section. Il est à noter que pour les éléments sollicités en flexion, la position de l'axe neutre est largement influencée par la rigidité de la réparation. Une réparation avec un module élastique faible aura tendance à rabaisser la position de l'axe neutre. Cependant, l'inverse se produit pour une réparation avec rigidité élevée, ou se produit une concentration de contraintes ainsi qu'un cisaillement élevé le long de la zone de transition inter-faciale provoquant ainsi la fissuration du matériau. Il est donc clair qu'afin d'avoir des efforts moins élevés dans le matériau de réparation, il faudrait que ce dernier soit moins rigide que le substrat. Ceci est vrai dans le cas d'utilisation des bétons voir mortiers autoplaçants.

Les modules d'élasticité statique et dynamique des bétons et/ou mortiers sont normalement liée à leur résistance en compression. [Roziere et al. \(2007\)](#) ont rapporté que les modules d'élasticité des mélanges BAP ont diminué avec l'augmentation du volume de pâte.

Dans une étude réalisée par [Shahmaran et al. \(2006\)](#) pour évaluer l'efficacité de divers additions minérales et adjuvants chimiques dans la production du mortier autoplaçant, une bonne corrélation entre la vitesse d'impulsions ultrasoniques et la résistance à la compression des mortiers a été démontrée.

[Sengul et al. \(2011\)](#) ont rapporté que, lorsque le poids unitaire du béton est réduit en raison de l'utilisation de perlite expansée, des valeurs inférieures du module d'élasticité sont obtenues. Ces résultats collèrent bien avec le code ACI 213R -03 comme on le montre la [Figure 3.14](#).

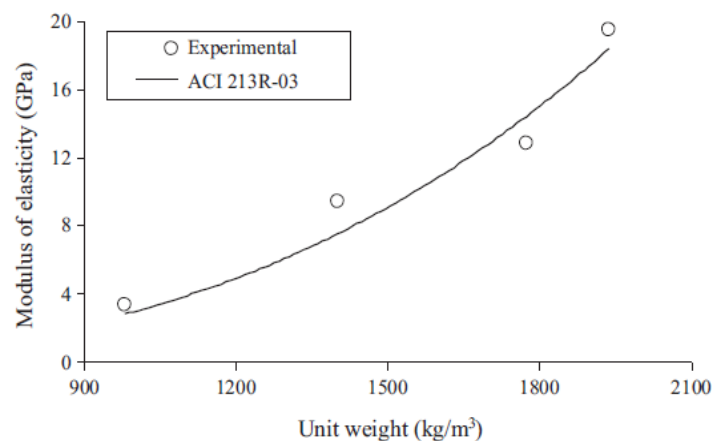


Figure 3.14 – Effet de l'agrégat de perlite expansé sur le module d'élasticité ([Sengul et al. 2011](#)).

[Gencel et al. \(2011\)](#) et [Cominoli et al. \(2007\)](#) ont rapporté que l'addition de fibres dans la matrice cimentaire se traduira par une augmentation du module d'élasticité et un comportement ductile amélioré du MAP.

[Ahmad et al. \(1982\)](#) ont trouvé que le module de Young variait faiblement, pour les mélanges contenant des fibres. Par contre, [Zhang et al. \(1997\)](#) ont constaté une diminution du module de Young avec l'inclusion des fibres dans la matrice cimentaire.

[Najm et al. \(1995\)](#) ont étudié, à l'aide de la méthode des éléments finis, l'influence du volume des fibres et leur adhérence sur le module de Young par les équations 3.1 et 3.2.

$$E_{cha} = E_f V_f + E_m V_m \quad (3.1)$$

$$E_{cba} = \frac{E_f E_m}{(1 - V_f) E_f + E_m V_m} \quad (3.2)$$

Les indices c, ha, ba, f et m indiquent: composite, haute adhérence, basse adhérence, fibres et matrice, respectivement.

3.3.2.4 Adhésion mécanique

Si nous examinons la surface du béton à réparer, nous constatons l'existence d'un certain nombre d'imperfections tels que les cavités voire les aspérités de surface. Etant donné que l'adhésion mécanique est intimement liée à la rugosité macroscopique, elle est ainsi assurée par ancrage mécanique du matériau de réparation qui pénètre à l'intérieur de ces imperfections avant durcissement ([Figure 3.15](#)).

A cet effet, La rugosité induite par la technique de préparation (sablage, hydro-démolition, etc...) de surface est une étape essentielle pour le développement d'une bonne adhésion mécanique du mortier de réparation. Cependant, une microstructure non uniforme et une porosité relativement élevée de la zone de transition interracial seraient à l'origine des propriétés mécaniques relativement faibles des systèmes de réparation ([Garbacz et al. 2006](#)).

[Li et al \(2001\)](#) et [Mehta \(1986\)](#) ont constaté une augmentation notable de la force de liaison entre le matériau de réparation contenant une addition pouzzolanique et le substrat de béton. Ils ont conclu que cette amélioration est dû à la rugosité de l'interface et à la formation de gel C-S-H en raison de la réaction pouzzolanique. Beaucoup d'études montrent l'intérêt des fibres pour limiter le décollement de l'interface et leurs contributions au fonctionnement monolithique des deux couches de béton ([Chausson 1997](#), [Farhat 1999](#), [Tran 2006](#)).

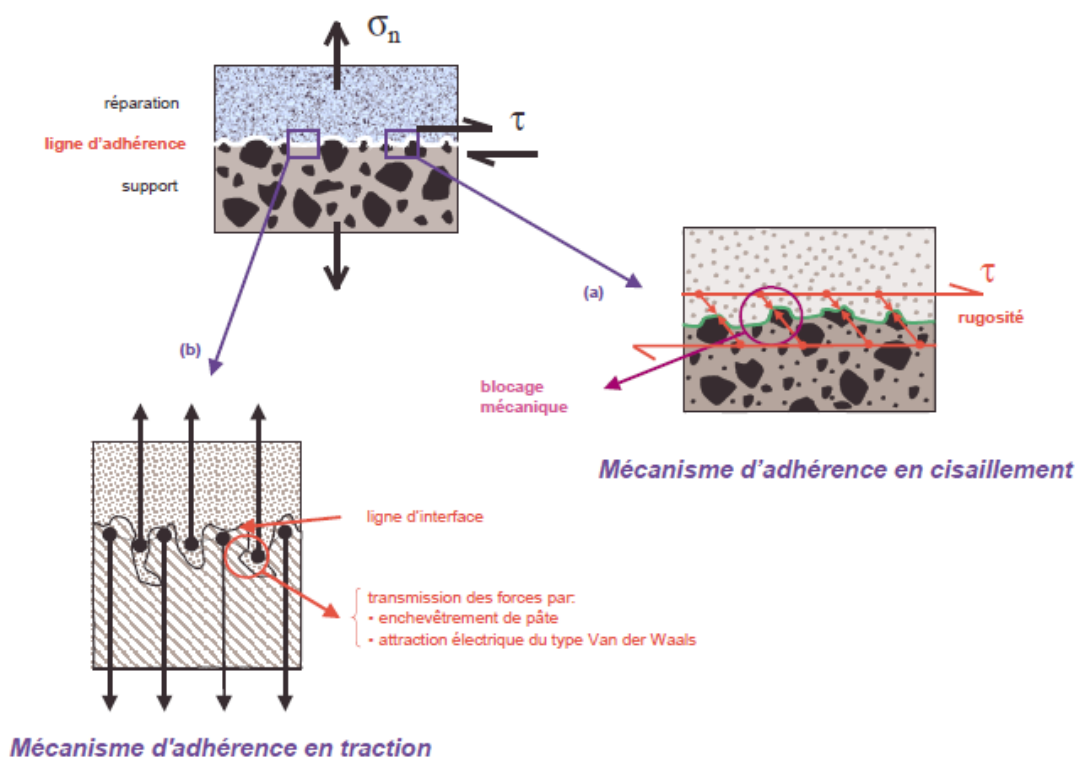


Figure 3.15 –Mécanisme d'adhérence ([Emmons et al. 1993](#))

3.3.2.5 Adhesion spécifique

L'adhésion spécifique est un phénomène complexe (Courrard 1999). Elle est comme étant l'aptitude à créer des forces d'interactions (les forces de Van der Waals, les liaisons hydrogènes et les liens chimiques) à l'interface entre le mortier de réparation et le substrat. En effet, la sommation de ces forces (en termes d'énergie de liaison) conduit à l'adhésion désirée. Toutefois, quelques imperfections se trouvant sur la surface du support ont pour effet de chuter la résistance des forces d'adhésion et provoquer le décollement.

3.3.2.6. Différents types de tests utilisés pour quantifier l'adhérence

Plusieurs essais existent permettant de quantifier l'adhérence (essais de rupture entre deux matériaux) ont été développés (Silfwerbrand 2003) (Figure 3.16). Ces essais peuvent être effectués par traction, par flexion et/ou par cisaillement direct ou indirect.

L'essai pull off (Figure 3.17) est un essai simple à réaliser soit au laboratoire comme au chantier. Un effort de traction à l'aide d'une pompe hydraulique de l'appareil est exercé pour mesurer la force nécessaire à la rupture de la réparation et de la localiser. La rupture peut être cohésive dans le substrat ou dans le mortier, adhésive suivant l'interface ou mixte à la fois cohésive et adhésive (Figures 3.18 et 3.19). Cependant, de faibles valeurs d'adhérence sont données par cet appareil par rapport à d'autres essais qui ont été développés, et plus précisément l'essai de cisaillement par compression (Figure 3.16 H).

En effet, cet essai donne des valeurs satisfaisantes en termes d'adhérence ainsi que des valeurs plus faibles en termes de coefficient de variation (C.O.V) et d'erreur relative standard (Bouraoui 1998) (Figure 3.20).

Julio et al. (2004) ont mené une campagne expérimentale pour quantifier l'adhérence des mortiers de réparation sur les substrats de béton ayant subi des traitements de surfaces différents (Figures 3.21).

L'adhérence a été évaluée par deux types d'essais distincts à savoir l'essai d'arrachement (pull off) et l'essai de cisaillement oblique (slant shear). Ces chercheurs ont constaté l'intérêt du traitement de surface sur l'adhérence. En outre, l'essai de cisaillement oblique a montré des valeurs d'adhérence nettement supérieures que celles effectuées par de l'essai d'arrachement.

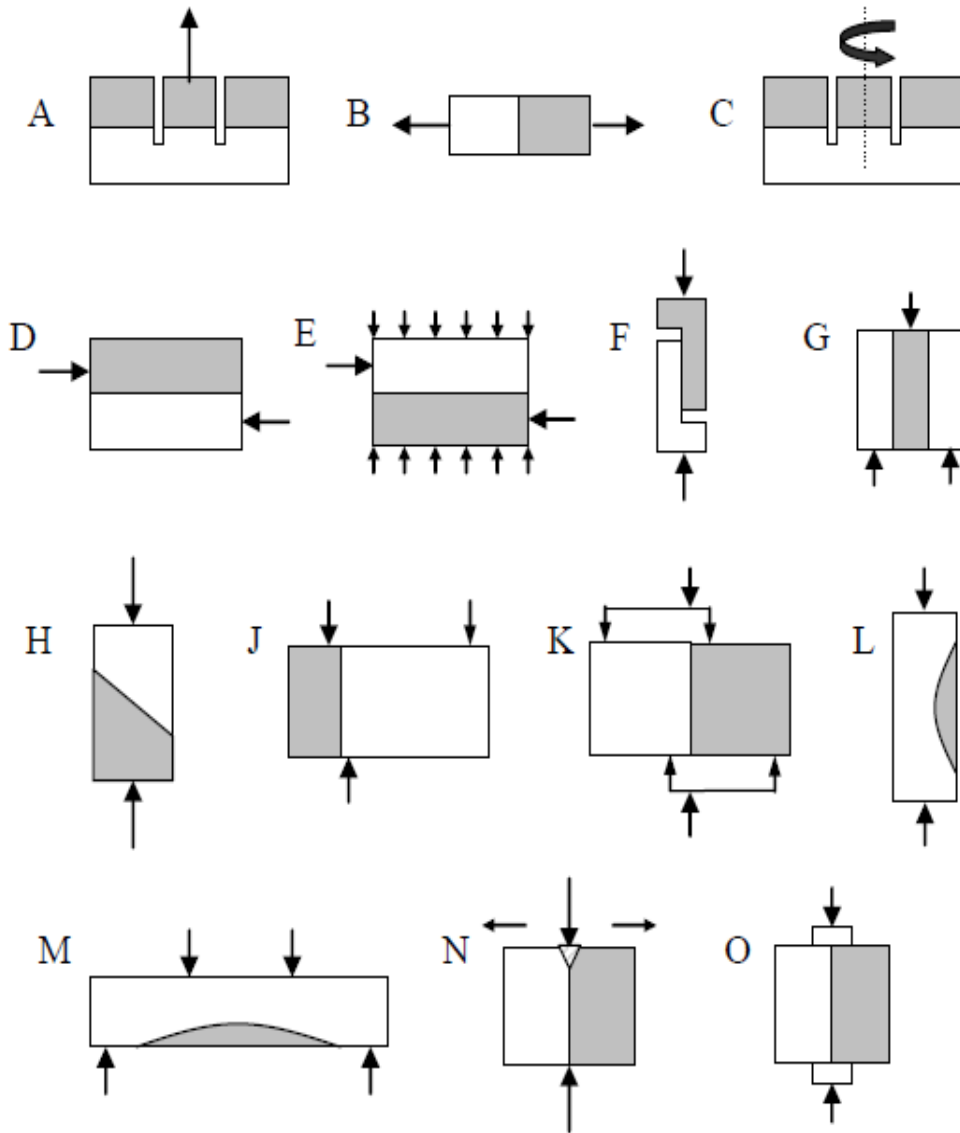


Figure 3.16 – Différentes techniques utilisées pour caractériser l'adhérence des mortiers (Momayez et al. 2005, Silfwerbrand 2003).



Figure 3.17 – Appareil pull off.

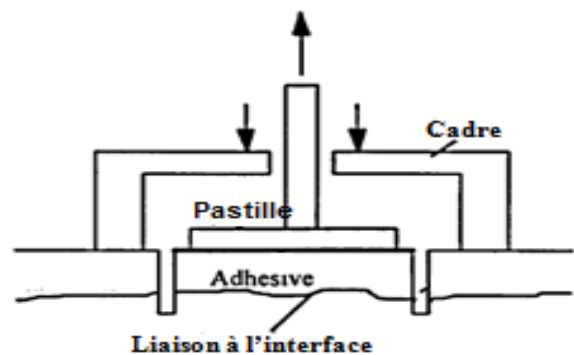


Figure 3.18 – Principe général de l'essai d'arrachement (pull off) (Youguang Pan 1995)

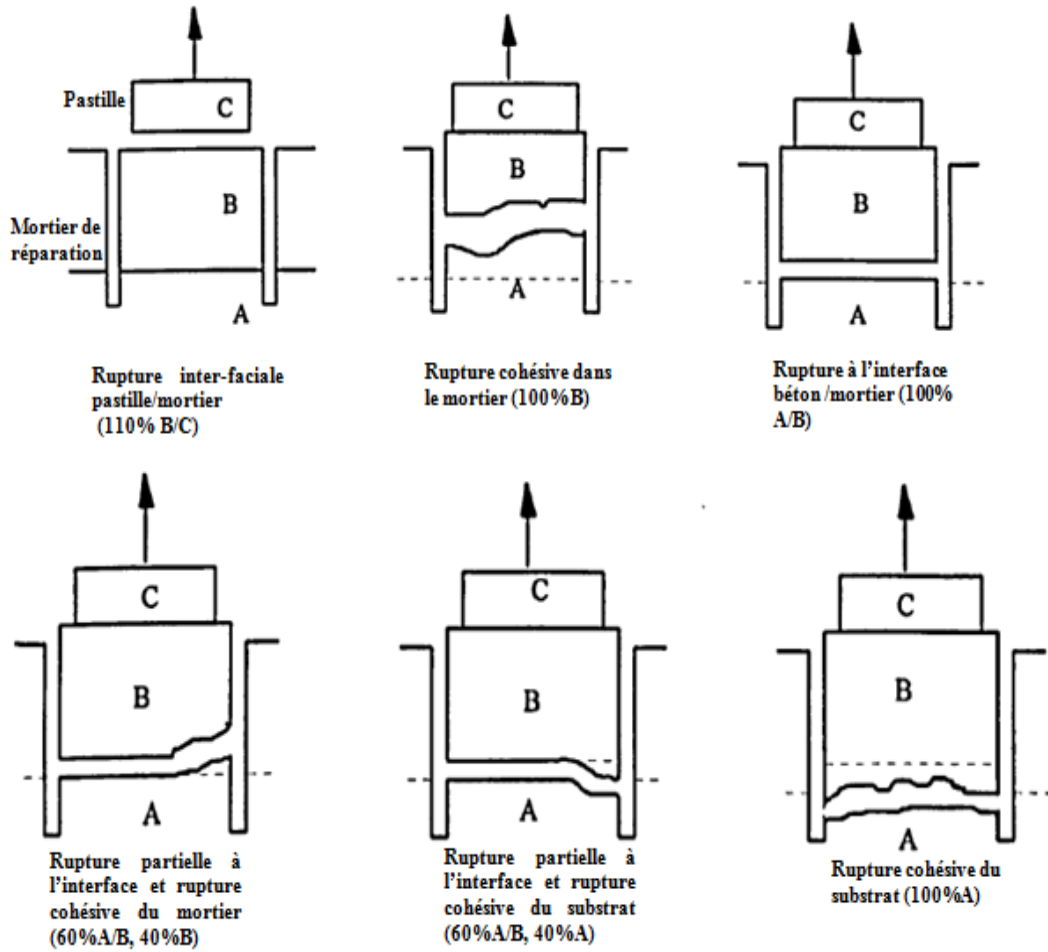


Figure 3.19 – Modes de ruptures possible du composite béton /mortier de réparation, par l’essai d’arrachement (Pull off) (Youguang Pan 1995).

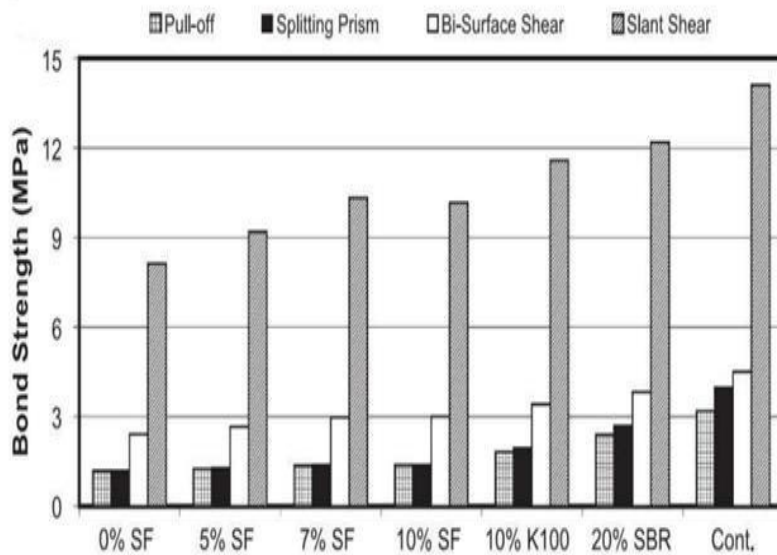


Figure 3.20 – Adhérence mesurée avec les méthodes de la figure 3.7 pour une faible rugosité de surface du support (Bourouï 1998).



Figure 3.21 – Méthodes de traitement de surfaces utilisées (Julio et al. 2004).

Tableau 3.3 – Résultats de l'essai d'arrachement (pull off) (Julio et al. 2004).

Situations envisagées	Traitement de substrat	L'adhérence (MPa)
1	Sans traitement	--
2	Brossage métallique	1.92
3	Partiellement perforé	1.47
4	Partiellement perforé et pré-mouillé	1.02
5	Jet de sable	2.65

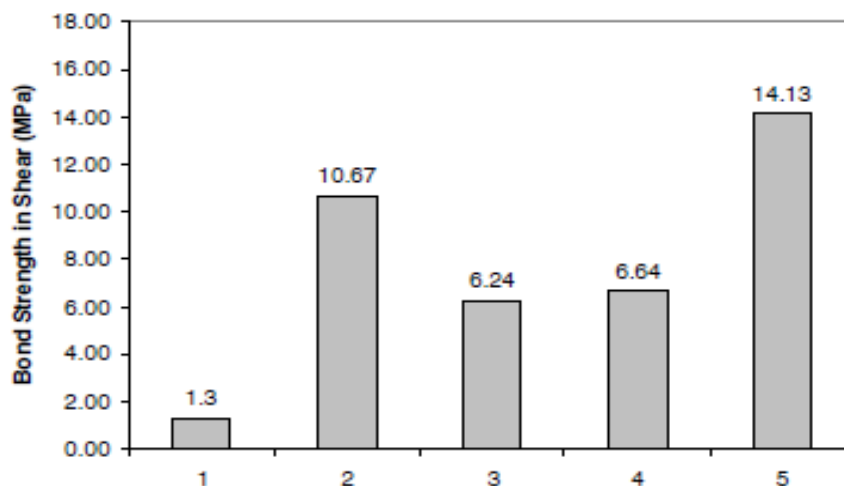


Figure 3.22 – Cisaillement oblique (slant shear) (Julio et al. 2004).

Afin d'évaluer la performance de l'adhérence, Anagnostopoulos (2002) a effectué un essai de flexion quatre points sur une éprouvette mixte brique-mortier représentée sur la Figure 3.23.

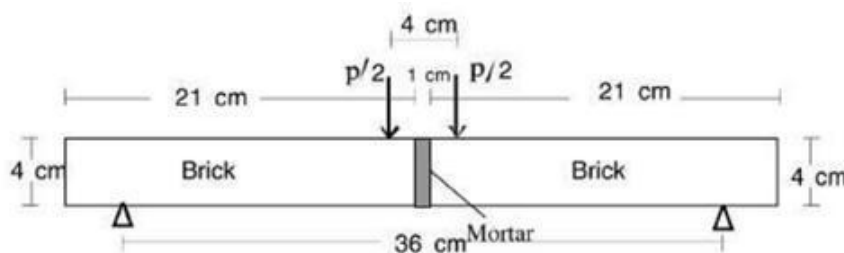


Figure 3.23 – Essai d'adhérence par flexion 4 points (Anagnostopoulos 2002).

D'autre part, Qiao et al. (2009) ont réalisé deux types d'essais, l'essai d'adhérence par traction (pull off) et par flexion comme le montre la Figure 3.24. L'essai d'adhérence par traction a été réalisé pour mesurer la résistance d'adhérence sous la traction directe tandis que l'essai de flexion est un essai de traction indirect.

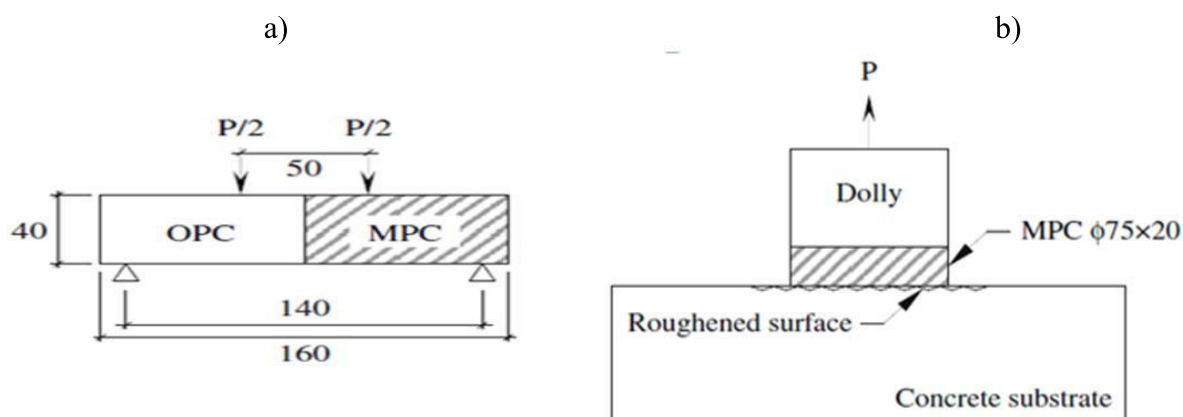


Figure 3.24 – a) Résistance d'adhérence par flexion et b) Résistance d'adhérence par traction (unité en mm) (Qiao and Chau, 2009).

Czarneck et al. (1999) ont fabriqué cinq (05) poutres non ferrillées. Après leur murissement à 28 jours, les chercheurs ont procédé à la préparation des substrats de chaque poutre (sablage). Les réparations des poutres sont effectuées après 7 jours.

Pour des fins de comparaisons, les poutres réparées sont stockées dans 3 environnements de cure à savoir: l'air sec, l'humidité et l'alternance entre l'air sec et l'humidité. Dont le but d'évaluer la compatibilité ou l'incompatibilité des matériaux de réparation avec le substrat. Les poutres sont sujettes à des chargements par 4 points (Figure 3.25) conformément à la norme ASTM C78. Les modes de défaillance (compatibles ou incompatibles) ont été classés comme illustré à la Figure 3.26.

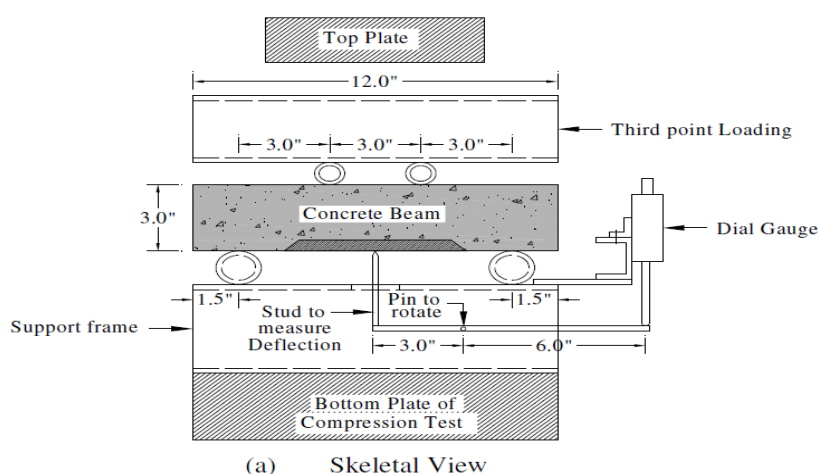


Figure 3.25 – Mesure de la déflexion de la poutre

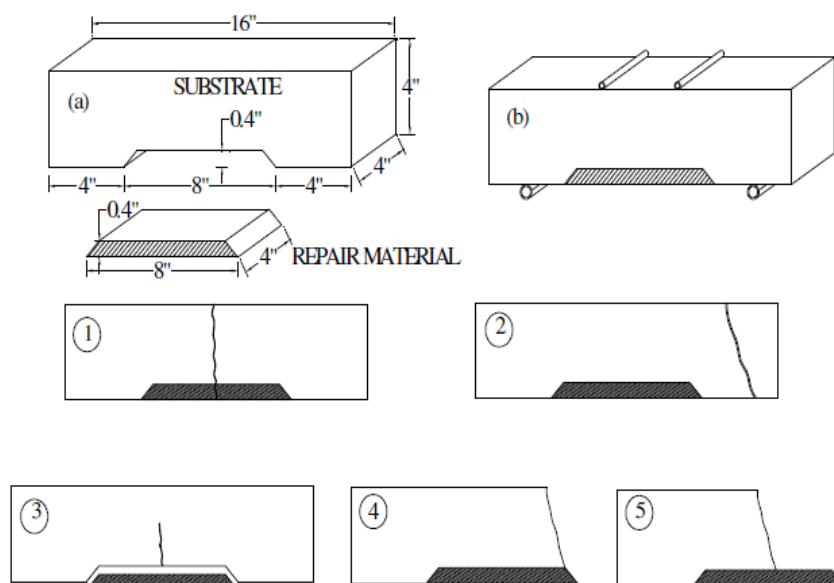


Figure 3.26 – Evaluation de la compatibilité par essai de chargement par 4 points (Czarneck et al. 1999) 1,2-compatibilité; 3,4,5-incompatibilité.

En outre, [Habel \(2004\)](#) a rapporté qu'un élément réparé (poutre en béton) et sollicité en flexion, peut prendre trois modes de rupture. Soit une fissuration qui s'étale sur toute l'épaisseur de la réparation, soit une délamination à l'interface (perte du comportement monolithique) soit une rupture du béton en compression. Cependant, lorsque la réparation est sollicitée en moment négatif et qu'elle se fissure, ceci peut engendrer une rupture en flexion conventionnelle voire une rupture en flexion par rupture de l'interface.

3.3.3 Compatibilité déformationnelle

Pratiquement, on ne peut guère opter pour un matériau de réparation dont la compatibilité dimensionnelle avec le béton de substrat est similaire. Ceci revient dans la majorité des cas à l'utilisation de matériaux de réparation différents du béton de substrat. En effet, l'incompatibilité dimensionnelle se manifeste par l'apparition des contraintes dans la zone de transition interfaciale qui engendrent des fissures voire des décollements de la couche de réparation. Les principales causes sont le retrait, la déformation thermique et les propriétés de transport.

3.3.3.1 Le retrait

[Morgan \(1996\)](#) a rapporté que la présence des barres d'armatures corrodées dans le béton ainsi que les réactions secondaires telles que la réaction alcali granulats, sont les problèmes majeurs qui sont à la cause de la diminution des performances du matériau de réparation et son comportement dimensionnel vis-à-vis du béton de substrat.

En outre, [Yuan \(1991\)](#) a constaté que les variations dimensionnelles, lorsqu'elles sont empêchées, elles peuvent aussi engendrer la fissuration du matériau de réparation. En effet, le matériau de réparation tente de se contracter sous l'effet du retrait alors que le substrat de béton est dans un état volumétrique stable, cela veut dire que les déformations dues au retrait et à la relaxation sont déjà terminées et se sont stabilisées.

En raison de l'adhérence entre ces deux matériaux (matériau de réparation et béton sain), la nouvelle couche de matériau de réparation est empêchée de faire ses changements volumétriques par le substrat de béton. Cela provoque le développement d'une contrainte de traction qui peut dépasser la résistance en traction du matériau de réparation et provoque l'apparition de fissures sur la surface du matériau de réparation. La [Figure 3.27](#) explique les mécanismes du retrait empêché.

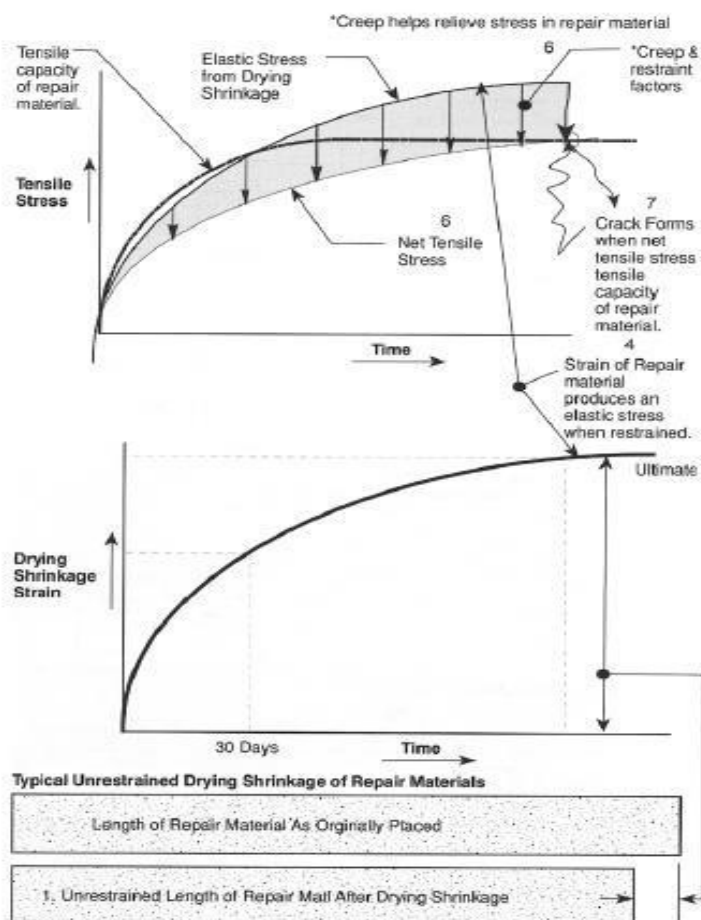


Figure 3.27 – Effet du retrait de séchage et du fluage en traction sur les réparations en béton (Emmons 1993).

Pour une réparation pérenne, Brill et al. (1980) ont rapporté que le matériau de réparation doit avoir un retrait inférieur à celui du substrat de béton. Le volume élevé de pâte contenu dans les mélanges de MAP engendrent des retrait importants comparativement à ceux des mortiers ordinaires (Rozière 2007, Loser et al. 2009).

Cependant, d'autres chercheurs prétendent le contraire (Holt et al. 2002). Une méthode efficace pour le contrôle de fissures au jeune âge est d'incorporer de petites quantités de fibres courtes. L'incorporation de fibres contrôle les micro-fissures dans le matériau de réparation au jeune âge.

Shah et al. (1998) ont constaté que les fibres ne modifient pas le retrait libre de la matrice, cependant, des dosages assez importants, elles peuvent augmenter de façon significative la résistance à la fissuration et réduire la largeur des fissures.

3.3.3.2 Déformation thermique

Les propriétés thermiques du matériau de réparation et celles du substrat jouent un rôle capital sur la compatibilité déformationnelle en particulier lorsque l'infrastructure à réparer se trouve dans un environnement qui subit de grandes variations de température. En effet, le béton et/ou mortier se dilate ou se contracte en fonction des changements de températures. Les deux matériaux (matériau de réparation et substrat) réagissent différemment en fonction de leurs coefficients de dilatation thermique respectifs.

Si l'écart entre les deux coefficients est significatif, des contraintes internes peuvent être engendrées et causer la fissuration dans la zone de transition interfaciale du composite ou dans celui le moins résistant (Bastien 2010). Généralement, pour aboutir à une compatibilité thermique, il faut utiliser dans la fabrication du matériau de réparation les mêmes constituants que ceux du béton de substrat.

3.3.3.3 Propriétés de transport

La perméabilité est définie comme la capacité d'un milieu poreux à être traversé par les fluides (l'eau, pure ou contenant des ions, le gaz carbonique et l'oxygène) sous gradient de pression. En effet, ces fluides peuvent altérer la masse du béton et corroder les armatures. À cet effet, la perméabilité est considérée comme une donnée importante concernant la durabilité d'une structure ou d'un élément d'un ouvrage en béton réparé (Bentz 2000).

En outre, une compatibilité de perméabilité entre le matériau de réparation et le substrat est conseillée afin de ne pas créer d'accumulation d'eau dans la zone de transition interfaciale (Emmons 1993) en raison d'une microstructure poreuse et fragile pouvant engendrer le décollement en cas d'exposition au gel.

De plus, une faible perméabilité du système de réparation est souvent obtenue pour des bétons présentant un faible rapport eau/ciment et d'un dosage en ciment important. En effet, les adjuvants minéraux peuvent améliorer la densité et de diminuer la perméabilité du béton. Par conséquent, la durabilité du système de réparation est également augmentée. En effet, l'apparition de fissures devient une source de danger pour la durabilité du système réparé. Selon (Emmons et al. 1993), minimiser la fissuration de la réparation plutôt que minimiser la perméabilité est primordial afin de permettre une durabilité satisfaisante du système réparé.

Fiat et al. (2010) ont rapporté que l'inclusion de 5%, 7% et 8,5% de poudre de perlite (taille 0-1 mm) dans les mortiers a conduit à une augmentation de la perméabilité à l'eau.

Isikdag et al. (2015) ont constaté que les mélanges de mortiers contenant 20%, 40% 60% et 80% de perlite en remplacement du ciment ont montré des valeurs d'absorption d'eau à 28 jours, de 80%, 104,54%, 136,36% et de 209,1%, respectivement.

Sengul et al. (2011) ont rapporté que lorsque la teneur en perlite expansée augmente dans un mélange de béton, son poids unitaire se réduit et des absorptions d'eau beaucoup plus élevées sont obtenues (Figure 3.28).

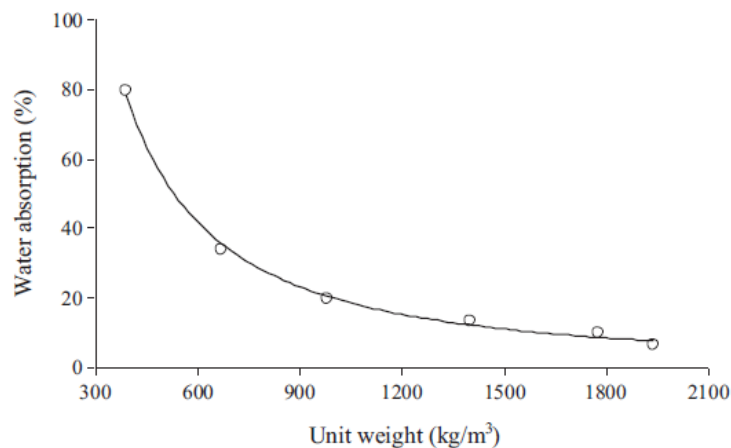


Figure 3.28– Effet de l'agrégat de perlite expansée sur l'absorption d'eau.

En raison des cavités internes de la perlite, l'absorption d'eau est considérablement augmentée de 6,11% à 12,50% pour les échantillons P2 (densité 1534) et P3 (densité 1490), alors que les taux de sorption sont moins affectés pour les mêmes dosages. Ceci confirme que l'absorption d'eau sous immersion dépend du nombre de cavités générées par la perlite. Il existe une corrélation claire entre l'absorption d'eau et la densité apparente de la matière sèche (Lanzón et al. 2008).

3.4 Conclusion

Nous avons vu dans le présent chapitre que le comportement d'un élément réparé est fortement influencé par l'adhérence entre la réparation et son support. A cet effet, le concepteur d'une réparation doit en tout état de cause tenir compte de certains facteurs, afin d'aboutir à une réparation durable ayant un comportement monolithique avec le reste de l'élément existant. Les principaux facteurs sont résumés comme suit:

- Les propriétés requises à l'état frais pour une réparation durable sont principalement liés à l'ouvrabilité du matériau de réparation c'est pour cette raison que les mortiers autoplaçants sont préférés dans les travaux de réparation.

- Un MAP formulé avec un rapport E/C réduit, présente un potentiel de fissuration plus grand qu'un MAP formulé avec un E/C élevé.
- Une bonne résistance en traction du matériau de réparation permet d'empêcher une fissuration prématurée.
- L'incorporation des fibres dans le matériau de réparation sont similaires aux barres d'armatures. Elles minimisent la fissuration et améliorent l'adhérence avec le substrat.
- Un faible retrait diminue les risques de fissurations dues aux déformations restreintes (retrait plastique).
- Une faible perméabilité du matériau de réparation permet d'éviter la pénétration des agents indésirables qui causent la dégradation du béton.
- Une surface rugueuse, propre et saturée-sèche, avant la mise en place de la réparation permet d'améliorer l'adhérence entre le nouveau et le vieux béton.

Sur la base de l'étude bibliographique, un travail expérimental faisant l'objet de caractérisation des matériaux entrant dans la fabrication des mortiers autoplaçants de réparation et leurs méthodes d'essai respectives sera présenté au chapitre suivant.

Chapitre 4:

CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX ET MÉTHOLOGIES

4.1 Introduction

L'objectif principal de notre travail de thèse vise à évaluer expérimentalement l'effet de la poudre de perlite naturelle comme substitue au ciment, sur la performance des mortiers auto-plaçants renforcés par des fibres (MAPFs), qui seront destinés à la réparation des structures en béton. A cet effet, trois mélanges de mortiers MAPFs incorporant 10%, 20% et 30% de poudre de perlite naturelle en remplacement du ciment ont été préparés et évalués par rapport à un mortier témoin contenant du ciment Portland.

Pour les MAPFs fabriqués, l'influence de la perlite sur les propriétés des mélanges de mortiers a été étudiée expérimentalement à l'état frais (étalement, temps d'écoulement, temps de prise et densité humide) et à l'état durci (densité sèche, conductivité thermique, résistance à la compression, résistance à la flexion, module d'élasticité dynamique, retrait, l'absorption en eau et l'adhérence par l'essai "slant-shear"). En outre, l'influence de trois conditions de cure (comparables à celles rencontrées dans le terrain) sur la compatibilité des mortiers préparés a été évaluée par l'essai de flexion trois points sur des poutres composites (mortier/béton de substrat). Finalement, les avantages économiques et écologiques liés à l'utilisation de la poudre de perlite sont également mis en évidence dans cette étude.

4.2 Programme expérimentale

Dans cette étude, la poudre de perlite (Figure 4.1) a été utilisée comme addition minérale, conformément aux spécifications de la norme ASTM 618 (2012). Cette roche volcanique est extraite de la carrière Bental (Hammam Boughrara) dans le nord-ouest algérien.

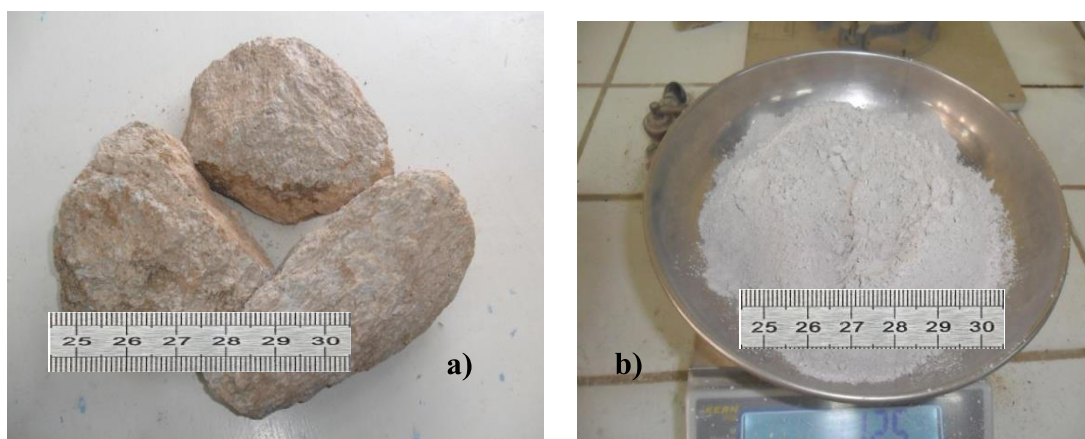


Figure 4.1 – Photographie de la perlite : a) la roche de perlite naturelle et b) la poudre de perlite.

Après son extraction elle a été broyée avec un pulvérisateur de laboratoire jusqu'à une distribution granulométrique (PSD) avec un diamètre moyen de particules (d_{50}) de $125\mu\text{m}$. Leurs propriétés physiques et chimiques et le spectre de diffraction de ce matériau sont présentés dans le [Tableau 4.1](#) et la [Figure 4.2](#).

Table 4.1 – Propriétés physiques et chimiques du ciment et de la poudre de perlite

Propriétés		Ciment	Perlite
Propriétés physiques	Densité	3.10	2.38
	Finesse de Blaine (m^2/kg)	340	500
	Resistance en compression à 28 jours (MPa)	42.5	--
Propriétés chimiques, Oxydes de base (%)	CaO	63.40	1.42
	SiO_2	21.60	71.73
	Al_2O_3	4.45	13.43
	SO_3	1.92	0.01
	Fe_2O_3	5.35	1.4
	MgO	1.65	0.42
	Na_2O	0.11	3.12
	K_2O	0.22	4.33
	PAF	0.78	3.66

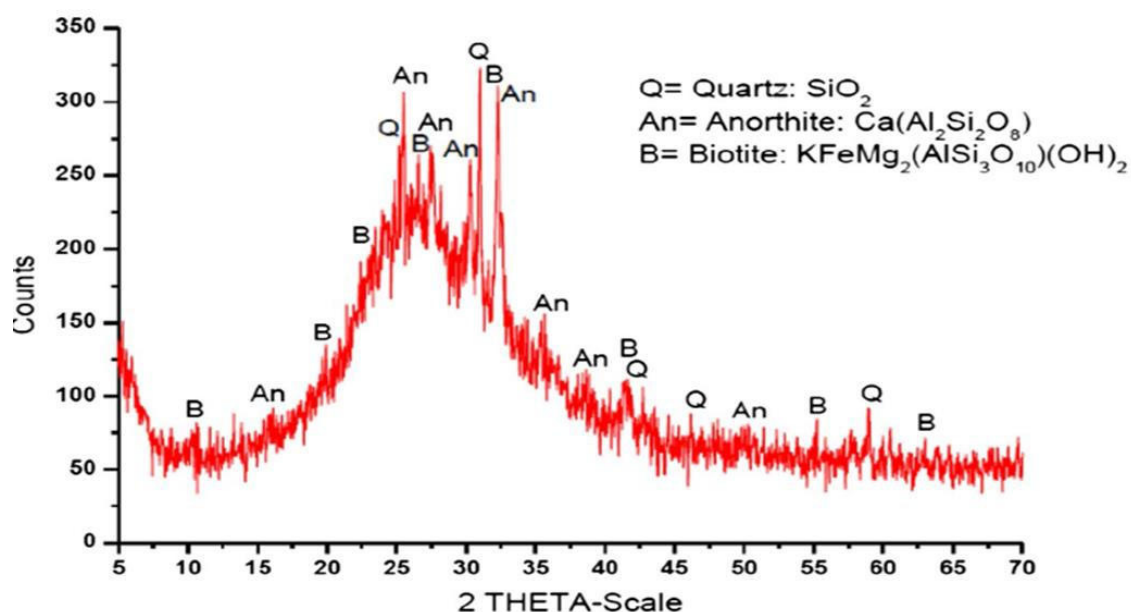


Figure 4.2 – Spectre de diffraction des rayons "X" de la poudre de perlite naturelle de Hammam Boughrara ([Chihaoui et al. 2016](#)).

L'agrégat grossier (gravier) utilisé pour la fabrication du béton de substrat est de nature calcaire, provenant d'une carrière locale, son diamètre maximal est 15 mm. Le sable utilisé dans la composition des mélanges des mortiers et du béton est un sable de rivière de nature siliceuse. Les propriétés de ces agrégats sont données dans le [Tableau 4.2](#) et leur granulométrie est représentée sur la [Figure 4.3](#).

Tableau 4.2 – Propriétés physiques des granulats.

Propriétés	Sable	Gravier
Densité	2.422	2.56
Module de finesse	1.65	--
Absorption	0.78	--

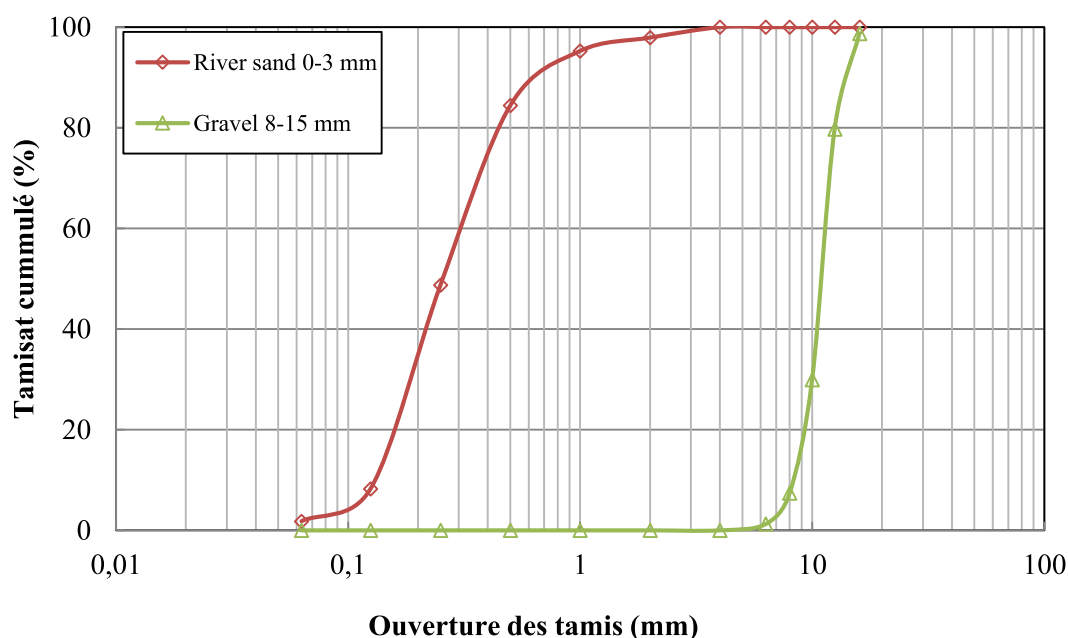



Figure 4.3 – Granulométrie des granulats fins et grossiers.

Pour le malaxage et la cure des échantillons des mortiers autoplacants nous avons utilisé l'eau de potable (pH7).

Le superplastifiant qui a été utilisé dans les mélanges des mortiers est un polycarboxylate d'éther qui améliore considérablement les propriétés des bétons. Il est conforme à la norme [EN 934-2 \(2009\)](#), avec une densité de 1,065 g / cm³ et une teneur en extrait sec de 30%.

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres courtes (GRANIFIBRES) fabriquées en polypropylène, provenant de GRANITEX -Algérie. Les caractéristiques générales de ces fibres sont présentées dans le [Tableau 4.3](#).

Tableau 4.3 – Caractéristiques générales des fibres polypropylène.

Photo	Longueur	Densité	Point de fusion	Module de Young	Allongement à la rupture	Section de la fibre
	12mm	0.9	150°C	3kN/mm ²	50%	30 μm

4.3 Proportions des mélanges de mortiers et du béton de substrat

4.3.1 Mortier de réparation

Dans notre programme de recherche, nous avons établi une simple démarche, qui nous a facilité la tâche pour aboutir rapidement à la formulation de quatre mélanges de mortiers de réparation selon les exigences de l'EFNARC.

Le [Tableau 4.4](#) présente la composition et la nomenclature des mélanges des mortiers (MAPFs) préparés. En effet, le chiffre à la fin de chaque mélange se réfère au taux de remplacement du ciment par la poudre de perlite. Par exemple, le MAPF0 est le mortier témoin (0% de poudre de perlite et 100% de ciment). Tandis que le mélange de mortier MAPF20 fait référence au mortier avec 20% de remplacement de ciment avec de la poudre de perlite.

Tableau 4.4 – Proportions des mélanges des mortiers

MAPF	C (kg/m ³)	PER (kg/m ³)	E (kg/m ³)	G (kg/m ³)	S (kg/m ³)	E/L	SP (kg/m ³)	PPF (%)
MAPF0	788	0	278	--	1170	0.35	10.30	0.03
MAPF10	710	79	278	--	1170		10.5	
MAPF20	631	158	278	--	1170		11.06	
MAPF30	552	237	278	--	1170		11.4	

Après quelques essais préliminaires, le rapport eau/poudre (w/b) a été choisi comme 0,35 et la teneur totale en poudre a été fixée à 788 kg/m³. Dans les quatre mélanges de mortier, la fraction volumique des fibres de polypropylène (PPF) a été maintenue constante (0,03%).

4.3.2 Béton de substrat

Le béton de substrat (C) préparé dans cette étude est généralement celui qui est utilisé par les entreprises de construction algériennes. La proportion de mélange du substrat est également présentée dans le [Tableau 4.5](#).

Tableau 4.5 – Proportions du mélange du béton de substrat (kg/m³)

Constituants	Quantité	Remarque
Ciment	340	CEMI/ 42.5A
Gravier	1130	Max 15mm
Sable	720	Max 3mm
Eau	170	Eau potable
Rapport E/C	0.50	--

4.3.3 Séquences de malaxage des mélanges de mortier

Dont le but d'obtenir à une homogénéité similaire, tous les mélanges de mortiers ont subi les mêmes séquences de malaxage. A cet effet, nous avons utilisé un malaxeur standard de marque Controls, d'une capacité de 5 litres.

En premier lieu, avons introduit dans le récipient du malaxeur le sable, le ciment et les ajouts cimentaires. Au cours du malaxage qui dure 2 minutes, une quantité de 2/3 d'eau est lentement versée dans le récipient. Ensuite le superplastifiant (SP) qui a été dilué dans l'eau restante est ajouté et le malaxage se poursuit encore 3minutes. Au cours du malaxage, les fibres de polypropylène FPP sont dispersées manuellement dans le mélange selon les instructions techniques fournies par le fabricant.

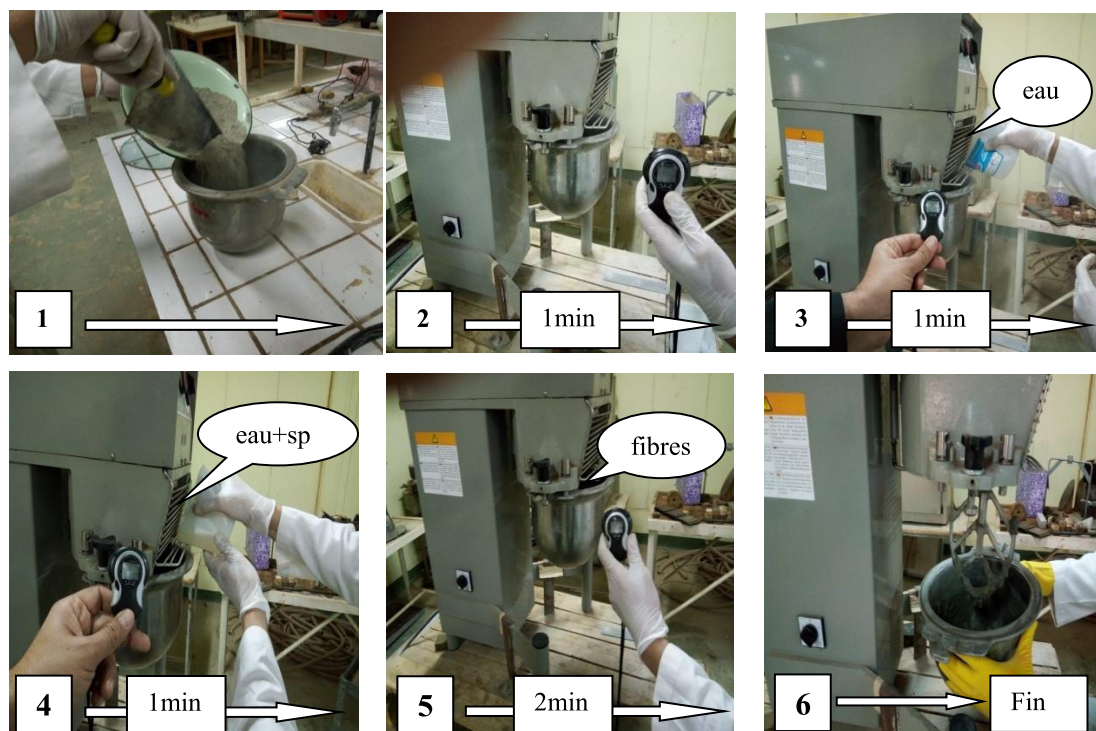


Figure 4.4 – Séquences de malaxage du mortier de réparation.

4.4 Méthodes d'essais pour le béton de substrat et les mortiers de réparation

L'étude expérimentale se compose de deux parties distinctes. La première partie est consacrée à la caractérisation des mortiers de réparation (MAPF) à l'état frais et le béton de substrat. Alors que dans la deuxième partie, nous nous sommes intéressés à étudier d'autres caractéristiques aussi importantes en vue d'obtenir des données plus détaillées sur les performances globales de ces mortiers de réparations développés.

4.4.1 Essai d'étalement des mortiers au mini cône

Pour évaluer les étalements des mortiers de réparation nous avons utilisé un moule de forme tronconique (Figure 4.5). Ce dernier est placé au centre d'une plaque de verre puis rempli avec du mortier et arasé. Le moule est ensuite soulevé dans la direction verticale pour permettre au mortier de se propager sous sa propre gravité.

En effet, au bout de 30 secondes, le diamètre de la galette (étalement) de mortier est mesurée dans deux directions perpendiculaires, la moyenne de ces deux mesures constitue l'étalement final du mortier (Domone et al. 1999). En outre, selon les spécifications et les lignes directrices de l'EFNARC (EFNARC 2005) un mortier est qualifié d'être autoplaçant si son diamètre d'écoulement variant de 240 à 260 mm.

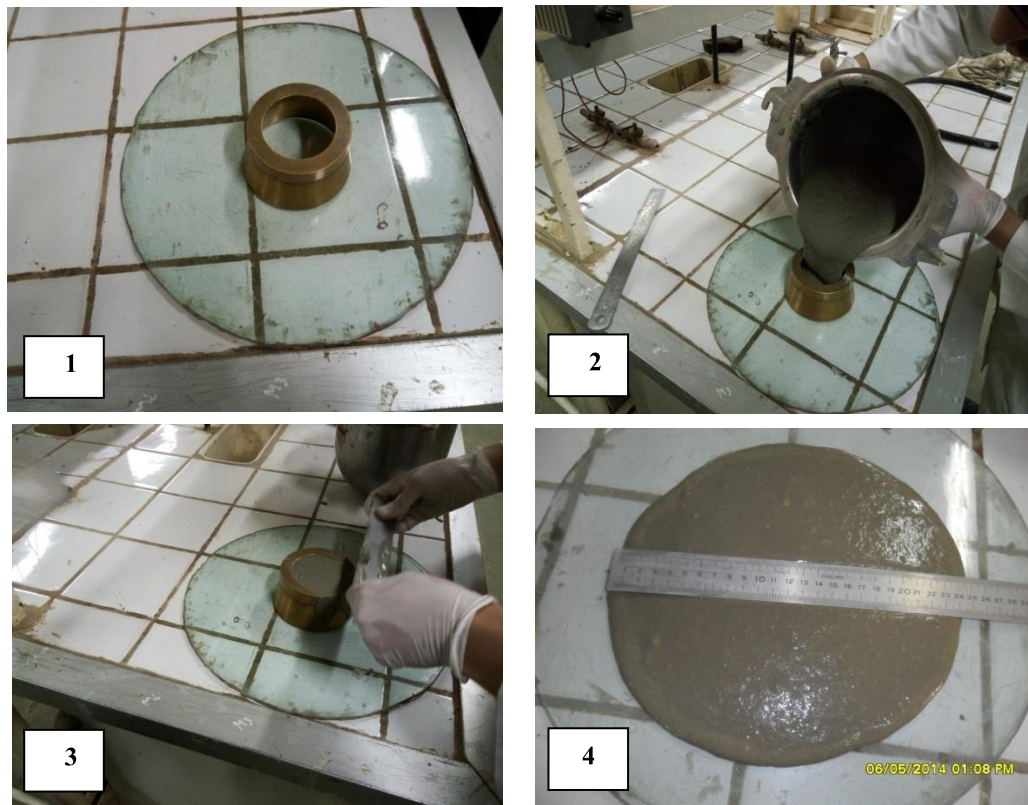


Figure 4.5 – Essai d'étalement des mortiers de réparation au mini-cône.

4.4.2 Temps d'écoulement des mortiers

Dans ce test, le mini entonnoir a été rempli complètement avec du mortier (Figure 4.6). On procède alors à ouvrir la trappe se trouvant à la partie inférieure du mini entonnoir pour permettre au mortier de s'écouler dans le récipient du malaxeur.

En effet, le temps d'écoulement est le temps (t) écoulé en secondes entre l'ouverture de la trappe et la première lumière qui apparaît quand on regarde de haut en bas à l'intérieur de l'entonnoir. Pour les mortiers autoplaçants, l'EFNARC (EFNARC 2005) suggère un temps d'écoulement compris entre 7 et 11 secondes.

En outre, après avoir effectué les essais du temps d'écoulement et d'étalement, le pH de ces mélanges de mortiers est mesuré à l'aide du pH mètre comme illustré dans la photo ci – dessous (Figure 4.7).



Figure 4.6– Temps d'écoulement des mortiers de réparation mesuré au mini V-funnel.



Figure 4.7 – Photo du pH mètre utilisé.

4.4.3 Densité apparente des mortiers frais

La masse volumique apparente des mortiers de réparation à l'état frais a été évaluée selon le protocole de la norme européenne [EN 1015-6 \(1999\)](#). A cet effet, un volume (V) contenant trois litres de chaque mélange de mortier frais a été utilisé.

La masse du récipient vide (m_1) est au préalable mesurée puis le récipient est rempli (m_2) par écoulement du mortier jusqu'au bord, ensuite arasé. En effet, la masse volumique apparente du mortier frais de réparation est déterminée comme étant le quotient de sa masse par le volume qu'il occupe lorsqu'il est introduit (Equ. 4.1):

$$\rho_m = \frac{m_2 - m_1}{v} \quad (4.1)$$

où

ρ_m : Masse volumique apparente du mortier frais (kg/m^3)

m_1 : Masse du récipient (g)

m_2 : Masse du récipient rempli de mortier (g)

v : Volume du récipient (litres).

4.4.4 Temps de prise des mortiers

Pour la détermination du temps de prise (début et fin de prise) des mélanges de mortiers, nous avons utilisé l'appareil de Vicat (EN 480-2 2006) (Figure 4.8). A cet effet, quatre échantillons ont été préparés pour chaque mortier de réparation (MAPF0, MAPF10, MAPF20 et MAPF30) et placés dans des moules de Vicat puis stockés à une température ambiante et dans une humidité spécifiée. L'aiguille Vicat (diamètre 1.13 mm et 50 mm de longueur) est mise en contact avec la surface supérieure de l'échantillon et relâchée.



Figure 4.8 – Appareil de Vicat pour la mesure du temps de prise des MAPFs.

À des intervalles de temps réguliers (10 min), la résistance du mortier à la pénétration par l'aiguille standard est mesurée (points espacés). Le temps de prise est déterminé quand la résistance à la pénétration est égale à 4 mm et inférieure à 2,5 mm, respectivement.

4.4.5 Consistance du béton de substrat

En fonction du type de béton et de sa classe de consistance, il existe plusieurs méthodes dont nous rappelons les principales:

- Cône d'Abrams,
- Etalement à la table à secousses,
- Maniabilimètre L.C.P.C,
- Test C.E.S.

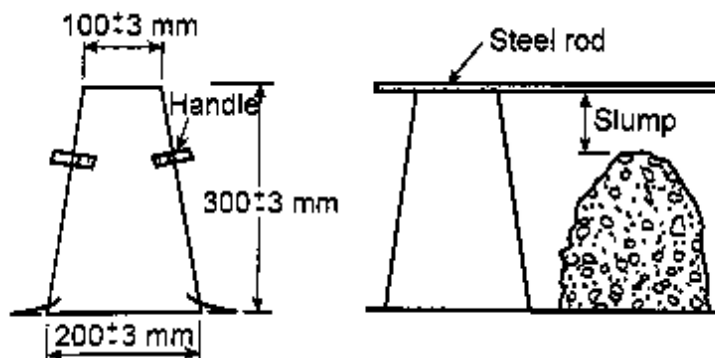


Figure 4.9 – Cône d'Abrams pour la mesure de l'affaissement du béton (Erdoğan 2005)

En raison de sa facilité d'utilisation en terrain comme au chantier, nous nous sommes basé dans notre travail sur la méthode classique pour la mesure de l'affaissement du béton préparé, servant de substrat. A cet effet, le cône a été rempli par trois couches égales de béton et chaque couche a été compactée par une tige normalisée de 25 coups (ASTM C 143 2003). Le moule a été soulevé verticalement et l'affaissement est mesuré comme présenté sur la Figure 4.9. La valeur de l'affaissement requise pour chaque type de construction est présentée au Tableau 4.6.

Tableau 4.6 – Valeurs de l'affaissement du béton recommandées pour divers types de construction

Affaissement A (cm)	Consistance	Domaine d'utilisation
0-4	Ferme	Béton de masse
5-9	Plastique	Béton de structure
10-15	Très plastique	Béton de structure

4.4.6 Densité apparente sèche du mortier durci

La méthode utilisée pour déterminer la masse volumique sèche des mortiers est basée sur le principe de la poussée d'Archimède. Cette méthode nécessite une balance hydrostatique d'une précision de 0,01% de la masse du corps d'épreuve. Le protocole expérimental suivi consiste à sécher au préalable les échantillons à une température de $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à une masse constante M_s , puis les faire saturer dans l'eau.

L'état de saturation étant atteint lorsque deux pesées successives (M_{sat}), effectuées à 15 min d'intervalle durant l'immersion, ne diffère pas de 0,2 % en masse. En fin, repeser l'échantillon à l'état saturé surface sèche soit M_{sss} . Le volume de l'échantillon est déterminé par l'équation 4.2 suivante:

$$\frac{M_{\text{sss}} - M_{\text{sat}}}{\rho_{\omega}} \quad (4.2)$$

Avec ρ_{ω} la masse volumique de l'eau, d'où la masse volumique de l'échantillon est déterminée par l'équation 4.3 suivante:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (4.3)$$

4.4.7 Conductivité thermique des mortiers

Dont le but d'évaluer les propriétés thermiques des mortiers de réparations fabriqués au laboratoire, nous avons préparé des échantillons de dimensions $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$ pour chaque mortier. Les mesures du coefficient de conductivité thermique λ ont été effectuées sur les échantillons de mortiers dans une chambre à température ambiante, à l'aide d'un instrument de mesure portable du type [ISOMET 2104 \(1991\)](#) qui affiche directement la valeur de λ en W/mK.

4.4.8 Essai de compression et de flexion des mortiers

La résistance à la compression ainsi que la résistance à la flexion sont des propriétés les plus importantes pour la classification des mortiers de réparation selon à la norme [EN 1504-3 \(2006\)](#). A cet effet, trois spécimens de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ de chaque mortier de réparation ont été préparés.

Les essais de résistance à la compression ainsi que de la résistance à la flexion ont été réalisés à l'âge de 1, 7, 28 jours selon la norme [EN 12390-6 \(1999\)](#). En outre, les essais ont été respectivement, réalisés dans une presse Controls 65-L1132 avec une vitesse de chargement de 50N / s.



Figure 4.10 – Essais mécaniques effectués sur les MAPFs.

Les résistances à la compression ont été déterminées en prenant la moyenne des six résultats des tests, alors que les tests de résistance à la flexion ont été déterminés en prenant la moyenne de trois résultats d'essai pour chaque mortier de réparation.

4.4.9 Essai de compression et de traction du béton de substrat

L'essai de compression du béton a été réalisé à l'âge de 28 jours selon la norme [ASTM C39 \(1996\)](#) sur des échantillons cylindriques (diamètre 16 cm et hauteur 32 cm) de béton confectionnés à l'échelle du laboratoire. Après leur démoulage, ces échantillons sont conservés dans l'eau à une température de $23 \pm 2^\circ\text{C}$. Après cette période, ils ont subi un surfacage au soufre et chargés avec un taux de chargement constant de $0,25 \pm 0,05 \text{ MPa} / \text{s}$. La valeur de la force de rupture et la résistance en compression sont directement affichés sur l'afficheur de l'appareil.



Figure 4.11 – Echantillons de substrat

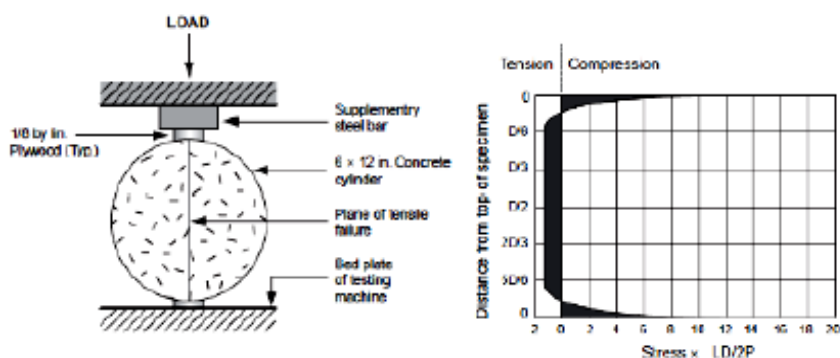


Figure 4.12 – Essai de traction par fendage (Mehta et al. 2006)

La résistance à la traction du mélange de béton a été déterminée à l'âge de 28 jours selon les exigences de la norme [ASTM C 496 \(2004\)](#). Le test est effectué par application des charges

compressives diamétralement opposées à un cylindre en béton posé longitudinalement dans l'appareil de compression. La fracture se produit le long du plan diamétral et la résistance à la traction est obtenue en utilisant la formule 4.4 suivante:

$$f'_{ct} = \frac{2P}{\pi \times L \times D} \quad (4.4)$$

f'_{ct} : Résistance en traction (MPa),

L : Longueur du cylindre (cm),

D : Diamètre du cylindre

4.4.10 Module d'élasticité dynamique E_D des mortiers

La mesure de la vitesse de propagation d'ondes ultrasonores au travers d'une éprouvette cylindrique de mortier de dimensions \varnothing 60 mm et h 100 mm selon la norme [EN 12504-4 \(2005\)](#) est un moyen de connaître le module de Young dynamique E_D au cours du temps.

A cet effet, nous avons utilisé un générateur d'ultrasons CONTROL_S connecté à deux transducteurs à ondes (émetteur et récepteur). Les transducteurs sont couplés d'une façon alignée sur deux surfaces parallèles rectifiées avec une meuleuse.

Ensuite les échantillons ont été séchés dans l'étuve à 80°C, jusqu'à masse constante (variation de masse inférieure à 0.2% après 24h). Le contact acoustique transducteur-échantillon est assuré en utilisant de la vaseline et en appuyant le transducteur contre la surface du béton. En effet, les échantillons de mortiers ont été examinés à l'âge de 7 et 28 jours.

L'essai a été répété deux fois pour chaque échantillon de mortiers de réparation (MAP). La moyenne de trois échantillons a été calculée à l'aide de la formule ci-dessous, en supposant que celui-ci est élastique, homogène et isotrope (Equ. 4.5):

$$E_D = \rho \cdot v^2 \quad (4.5)$$

où;

E_D : Module dynamique d'élasticité (GPa)

ρ : Densité sèche des échantillons (kg/m^3)

v : Vitesse de propagation du son (m/s)



Figure 4.13 – Essai du module d'élasticité dynamique E_D des MAPF_s.

4.4.11 Variations dimensionnelles des mortiers

Les variations de longueurs peuvent affecter l'adhésion entre les mortiers de réparation et le substrat de béton. Le test de quantification des variations de longueurs des mortiers a été effectué conformément à la norme [EN 12617-4 \(2002\)](#).

A cet effet, trois échantillons prismatiques ($4 \times 4 \times 16$) cm³ de chaque type de mortier de réparation ont été préparés. Dès leur démoulage, 24 heures après la fabrication, les longueurs ainsi que les masses des échantillons ont été mesurées à un temps t_0 pris comme référence. Les mêmes mesures ont été effectuées après 7, 14, 21 et 28 jours de séchage en ambiance à $(20 \pm 2) ^\circ \text{C}$ et 65% d'humidité relative, notons que les éprouvettes étant stockées de chant.



Figure 4.14 – Rétractomètre pour la mesure du retrait des MAPF_s.

Le retrait est déterminé par la relation 4.6 suivante :

$$\text{Retrait} = \frac{\Delta l}{l} \quad (4.6)$$

Où :

$$\text{Retrait} : \left(\frac{\mu m}{m} \right)$$

Δl : Variation de longueur de l'éprouvette par rapport à la longueur origine (mm)

l : Longueur initiale de l'éprouvette prise égale à 160 mm

4.4.12 Retrait du béton de substrat

Afin de garantir une bonne compatibilité deformationnelle entre le mortier de réparation et le béton de substrat, nous étions dans l'obligation d'évaluer le retrait de ce dernier (béton de substrat) à l'âge de 28 jours. A cet effet, nous avons confectionné 3 éprouvettes prismatiques de dimensions (7x7 x28) cm³. En effet, ces éprouvettes sont munies de plots métalliques à chaque extrémité et placées verticalement dans un rétractomètre qui permet le suivi de la variation de la longueur de l'échantillon. Les mesures ont été prises au premier jour juste après le démoulage de l'éprouvette et à l'âge de 28 jours.

4.5 Propriétés de durabilité (absorption en eau)

Les coefficients d'absorption d'eau par capillarité des mortiers de réparation ont été mesurés selon le protocole de la norme européenne [EN 1015-18 \(2003\)](#). A cet effet, trois prismes de mortier de (4x4x16) cm³ ont été confectionnés, démoulés après 24 h, puis muris pendant 27 jours avant l'essai.

Par la suite, ces échantillons ont été sciés pour se débarrasser de la couche ayant été en contact avec le moule (partie lisse). Afin obtenir des résultats concluants, les échantillons ont été placés à l'intérieur de l'étuve à 60°C jusqu'à la stabilisation de leur masse (variation de masse entre deux pesées espacées de 24 heures inférieure à 0.1%). les côtés de la partie clivée (4 x 4 x 8) cm³ des prismes ont été recouvertes d'une couche de résine pour imperméabiliser les surfaces latérales.

Après cette étape, les demi-prismes ont été séchés puis pesés. Ils ont été déposés verticalement sur une grille pour ne pas toucher le fond du bac et immergés sur une profondeur de 5mm d'eau ([Figure 4.15](#)).

En effet, pour que les faces des prismes n'entrent pas en contact les uns avec les autres, le niveau de l'eau du bac était maintenu constant tout au long de l'essai. Le coefficient d'absorption capillaire C pour les mortiers de réparation est la masse d'eau absorbée pendant 24h, comme le montre la relation 4.7 suivante:

$$c = \frac{M_f - M_0}{A} \quad (4.7)$$

Où,

C : coefficient d'absorption d'eau par capillarité ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$)

A : Section de l'éprouvette (m^2)

M_0 : masse initiale de l'échantillon sèche après passage à l'étuve (kg)

M_f : masse finale de l'échantillon après 24heures d'immersion (kg)

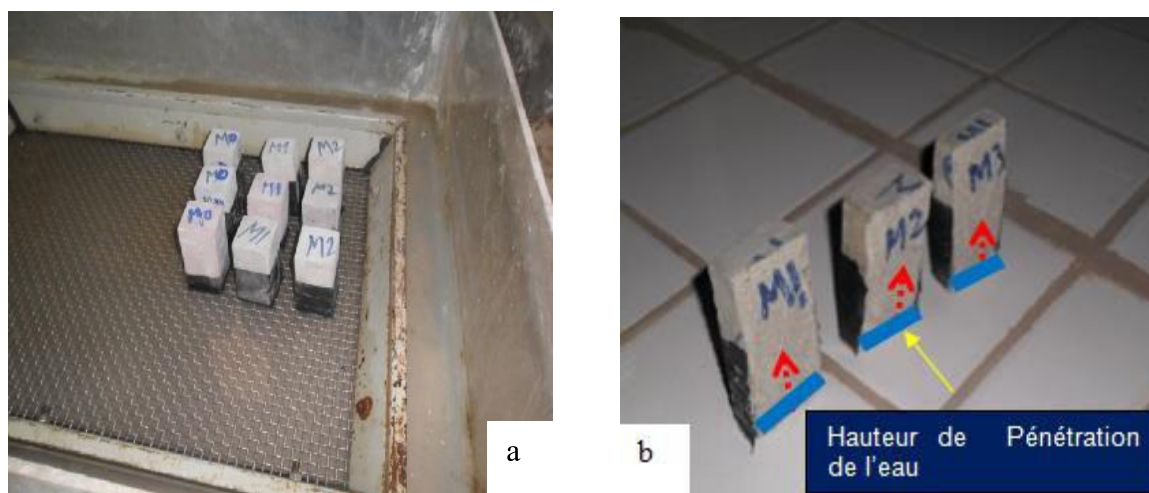


Figure 4.15 – Essai d'absorption en eau des MAPF : a) immersion des échantillons 24 heures dans l'eau b) mesure de la profondeur de pénétration de l'eau.

En outre, la norme exige que les échantillons (demi-prismes) soient coupés verticalement pour constater la hauteur de pénétration de l'eau dans l'échantillon (Figure).

4.6 Essai d'adhérence

L'adhérence entre les mortiers de réparation MAP et le substrat en béton (C) a été caractérisée par l'essai de cisaillement oblique selon la norme [ASTM C882 \(1998\)](#). Cet essai peut représenter des cas typiques dans les structures réelles et produit des résultats fiables ([Knab et al. 1989](#)). Cependant le paramètre influant sur l'essai est l'angle d'inclinaison de l'interface ([Austin 1999](#)). En effet, le composite utilisé dans ce test se compose de deux demi-cylindres (incliné à 30°) ([Figure 4.16a](#)).

Le béton de substrat a été coulé en utilisant des moules en plastique ensuite muris pendant 28 jours dans l'eau. Comme la rugosité de l'interface avant la réparation a pour effet dominant pour la performance de la résistance de liaison (Sato et al. 2014), la surface inclinée des échantillons a été traitée par sablage humide (sable concassé de 1mm de diamètre sous une pression de 7 MPa).

Les parties de support ont été stockées pendant une année à une température ambiante au laboratoire avant de couler le mortier de réparation MAP sur le substrat. Les interfaces des échantillons de substrats ont été saturées dans l'eau pendant six heures et séchées (Figure 4.16a) avant d'être introduit dans les moules (Figure 4.16b). Par la suite, les mortiers de réparation ont été coulés sur le béton de substrat (Figure 4.16c), puis durcies à l'intérieur des sacs en polyéthylène à une humidité relative (HR) de $95 \pm 5\%$ et une température de 20 ± 2 °C (Figure 4.16d).

Les échantillons cylindriques composites ont été garnis d'une couche de soufre pour le nivellement de surface (Figure 4.16e), puis testés en compression selon la norme ASTM C39, (2003) aux âges de 1, 7 et 28 jours (Figure 4.16f). La contrainte de liaison (l'adhésion) peut être calculée en utilisant l'équation 4.8 suivante :

$$\tau = \frac{F_{\max}}{\pi \times \phi^2} \times \sin 30 \quad (4.8)$$

où;

τ : Contrainte de liaison (MPa)

F_{\max} : Maximum de la force appliquée (kN)

ϕ : Diamètre du cylindre (mm)



Figure 4.16 – Préparation des composites MAP-Substrat et essai d'adhésion (slant shear test): a) saturation des substrats ; b) introduction des substrats dans les moules ; c) coulage des mortiers de réparation MAP ; d) cure des composites e) surfacage des composites ; f) essai de compression.

4.7 Compatibilité des mortiers de réparation (essai de flexion 4 points)

Pour évaluer la compatibilité des mortiers de réparation fabriqués, nous avons préparé deux types d'échantillons prismatiques en béton, de dimensions $10 \times 10 \times 40$ cm.

Le premier type comporte un évidement d'épaisseur 1cm (surface crantée) sur une surface de 10×20 cm. Cependant, le deuxième type présente un évidement d'épaisseur 2cm étalé sur la même surface ([Figure 4.17](#)).



Figure 4.17 – Echantillon prismatique évidé servant de substrat.



Figure 4.18 – Traitement de surface des parties évidées des substrats par sablage.

Dès leur démoulage, (24 heures après la fabrication), ces échantillons ont été muris dans l'eau pendant 28 jours à (20 ± 2) °C et stockés dans le laboratoire durant une période d'une année. Après cette période, les parties évidées ont été traitées par le jet de sable avec la même pression que celle utilisée dans l'essai d'adhésion (7MPa), ensuite les mortiers de réparation ont été coulés afin d'épouser les évidements (1 et 2 cm). Les composites obtenus MAPF_s-Béton de substrat ont été stockés dans trois milieux de cure différents ([Figure 4.19](#)) à savoir :

- 28 jours au laboratoire à une température de (20 ± 2) °C;
- 28 jours au laboratoire à (20 ± 2) °C + 28 jours dans l'eau à une température de (20 ± 2) °C;
- 28 jours au laboratoire à (20 ± 2) °C + 28 jours dans l'étuve à 40°C.

Pour évaluer la compatibilité de ces composites dans ces 3 milieux nous avons opté pour l'essai de flexion 4 points selon la norme [ASTM C 78 \(2009\)](#). A cet effet, les faces remplies par les mortiers de réparation ont été placées dans la partie tendue comme indiqué sur la [Figure 4.20](#). En supposant que le composite a un comportement élastique linéaire, la contrainte de traction pure (contrainte d'adhérence dans notre cas d'étude) est estimée par le rapport de la charge à la rupture et de la surface, et le tout est affecté d'un facteur de correction estimé à 0.60 (Equ. 4.9).

$$\sigma_a = \frac{1.8F}{a^2} \quad (4.9)$$

où,

σ_a : Contrainte d'adhérence (kN/cm²)

F : Force de rupture (kN)

a : Coté de la poutre (cm)

En outre, les matériaux de réparation élaborés MAPF_s ont été évalués compatible ou incompatible avec le béton du substrat par leur mode de défaillance. Si la défaillance passe à travers le matériau de réparation et au niveau du tiers médian du substrat, on peut dire que la défaillance est compatible, sinon le matériau de réparation est incompatible avec le béton du substrat (Czarneck et al. 1999).

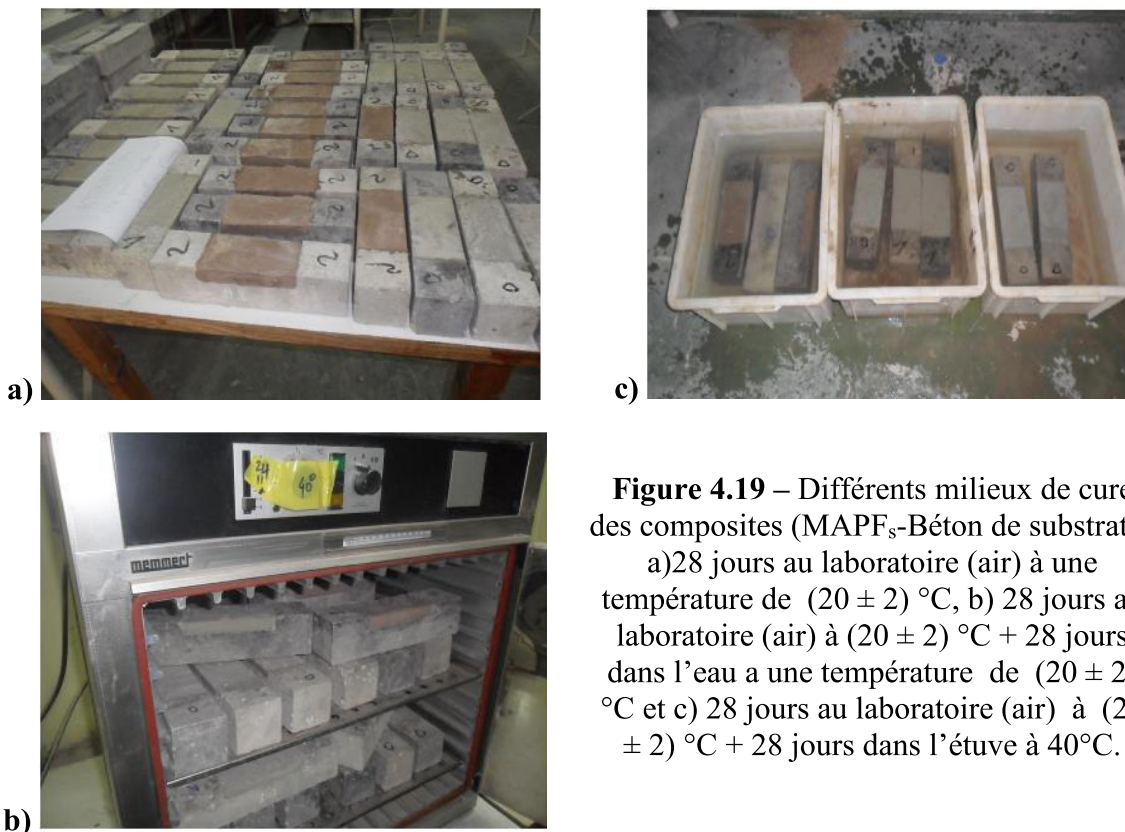


Figure 4.19 – Différents milieux de cure des composites (MAPF_s-Béton de substrat) :
 a) 28 jours au laboratoire (air) à une température de (20 ± 2) °C, b) 28 jours au laboratoire (air) à (20 ± 2) °C + 28 jours dans l'eau à une température de (20 ± 2) °C et c) 28 jours au laboratoire (air) à (20 ± 2) °C + 28 jours dans l'étuve à 40°C.

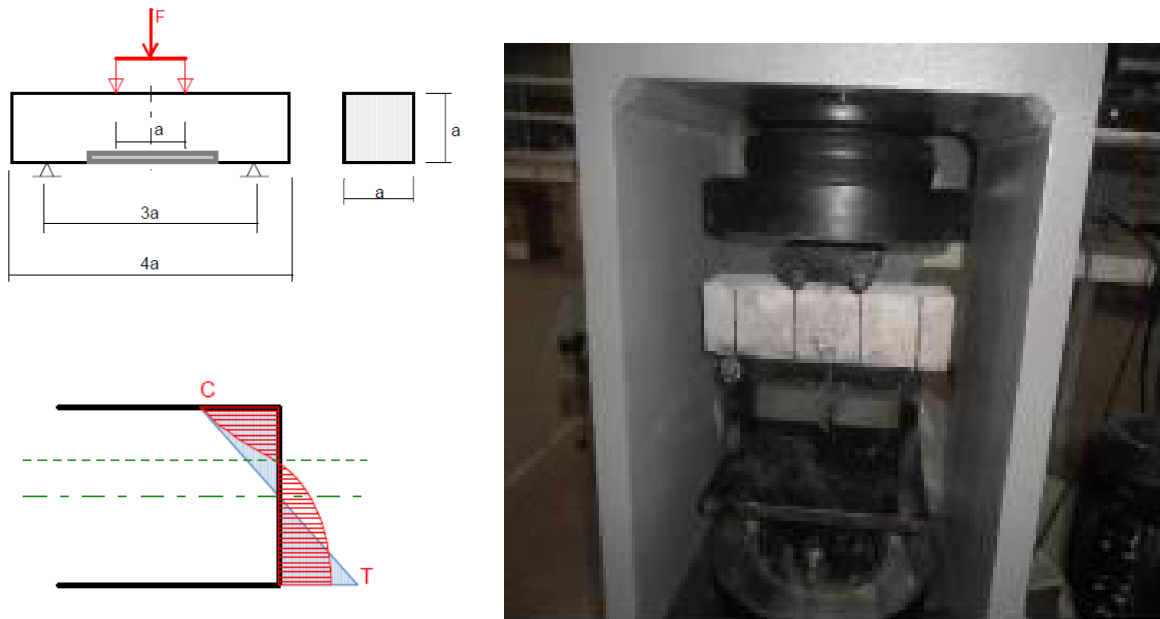


Figure 4.20 – Composites (MAPF_s-Béton de substrat) sous essai de flexion 4 points.

4.8 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'essentiel des caractérisations des matériaux utilisés, selon les exigences de la norme en vigueur, afin de confectionner des mortiers autoplaçants de réparation, contenant 10%, 20% et 30% de poudre de perlite naturelle. Nous avons également, caractérisé ces mortiers selon les normes en vigueur à l'aide de l'appareillage de laboratoire.

Le cinquième chapitre, est consacré à la présentation et la discussion des résultats des mortiers élaborés dans cette partie.

Chapitre 5:

PRÉSENTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

5.1 Introduction

Le présent chapitre est consacré aux analyses et discussions des résultats obtenus par les différents essais réalisés sur les mortiers de réparation élaborés et le béton de substrat, à l'état frais et à l'état durci. Nous essayons de donner des interprétations sur:

- les propriétés rhéologiques et fraîches des mortiers élaborés à partir de la poudre de perlite;
- les propriétés mécaniques et de durabilité de ces mortiers selon les exigences de la norme EN 1504-3;
- la compatibilité (l'adhésion) de ces mortiers vis-à-vis de notre environnement;
- Les avantages économiques et écologiques liés à la production de ces mortiers.

5.2 Propriétés à l'état frais et à l'état durci du béton de substrat

Les résultats qui se rapportent aux propriétés principales du béton de substrat à savoir la consistance, la résistance en compression, la résistance en traction et le retrait sont résumés dans le [Tableau 5.1](#). En effet, ces résultats ont été obtenus après avoir effectué plusieurs essais de caractérisation de ce béton au laboratoire.

Les résultats montrent bien que le béton préparé avec un rapport E/C=0.5, présente une consistance plastique (béton de structure) et que sa résistance en compression, en traction et son retrait à l'âge de 28 jours, sont comparables à celles utilisées dans nos chantiers. Donc il convient bien d'être utilisé dans notre étude comme étant un béton de substrat qui sera au futur réparé par nos mortiers autoplacants mis au point.

Tableau 5.1 – Principales caractéristiques du béton de substrat


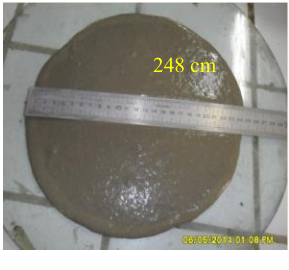
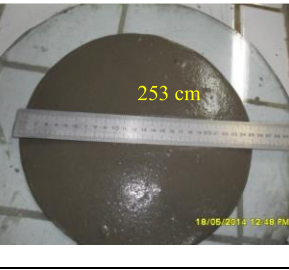
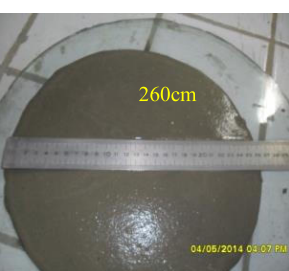
Affaissement (cm)	7
Resistance en compression (MPa)	30
Resistance en traction (MPa)	3.8
Retrait ($\mu\text{m}/\text{m}$)	1150

5.3 Etude des propriétés rhéologiques et fraîches des MAPF_s

Nous tenons à signaler que l'inspection visuelle des quatre mélanges de mortier testés n'a montré aucun signe de ressuage ni de ségrégation ([Tableau 5.2](#)). En effet, les autres propriétés

rhéologiques et fraîches (étalement, le temps d'écoulement et la densité apparente fraîche) pour les MAPF_s testés sont détaillées dans les sections suivantes:

Tableau 5.2 – Propriétés des MAPF_s à l'état frais.

Nombre de mélange	Etalement (cm)	Ressuage (Visuel)	Ségrégation (Visuelle)	Temps d'écoulement (s)	pH	Couleur du mortier
MAPF0		*ND	*ND	8	>12.5	Gris
MAPF10		*ND	*ND	9.56	>12.5	Grisâtre
MAPF20		*ND	*ND	10.2	>12.5	Grisâtre
MAPF30		*ND	*ND	10.96	>12.5	Grisâtre

*ND : Non détecté

5.3.1 Essai d'étalement au mini-cône (Mini-slump flow)

Les résultats des essais d'étalement des mortiers de réparation sont représentés sur la [Figure 5.1](#). En effet, le diamètre cible de 250 ± 10 mm, spécifié par l'EFNARC ([EFNARC 2005](#)) a été obtenue en ajustant le dosage de superplastifiant. Les diamètres d'étalement ainsi obtenus étaient compris dans une plage de 243 à 260 mm.

Nous pouvons constater à partir de la même [Figure](#) que le dosage de superplastifiant requis pour atteindre l'étalement désiré a légèrement augmenté avec l'augmentation de la quantité de poudre de perlite. En effet, si nous observons le [Tableau 4.4](#), nous constatons qu'une dose de superplastifiant de $10,3 \text{ kg} / \text{m}^3$ est suffisante pour aboutir à l'étalement désiré pour le mortier de référence MAPF0.

Tandis que des dosages de superplastifiant légèrement supérieurs sont avéré nécessaires pour aboutir à l'étalement cible pour les mortiers contenant la poudre de perlite. Ces dosages sont de 10,5, 11,1 et $11,4 \text{ kg} / \text{m}^3$, respectivement pour le MAPF10, MAPF20 et MAPF30.

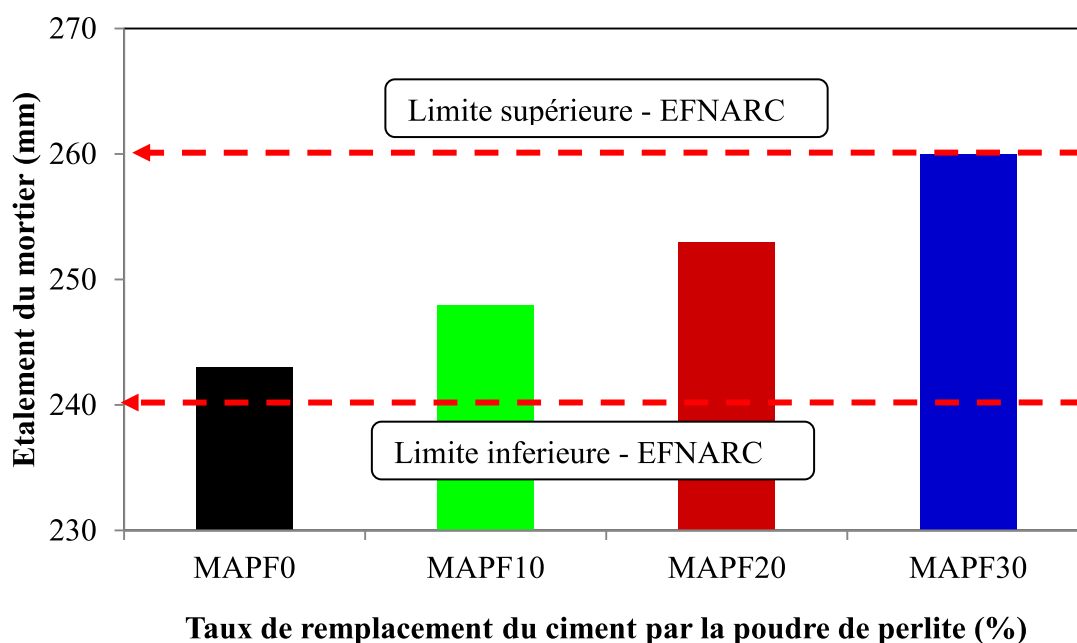


Figure 5.1 – Evolution de l'étalement des mortiers MAPFs.

L'augmentation du besoin en superplastifiant s'explique par la finesse élevée de la poudre de perlite (finesse de Blaine de $500 \text{ m}^2 / \text{kg}$ pour la poudre de perlite par rapport à $340 \text{ m}^2 / \text{kg}$ pour le ciment).

5.3.2 Temps d'écoulement (Mini V-funnel flow time) des MAPFs

La Figure 5.2 nous montre l'évolution du temps d'écoulement des mortiers de réparation en fonction du remplacement du ciment par la poudre de perlite naturelle. Le temps d'écoulement des quatre mélanges de mortiers de réparation, obtenu par l'essai mini-Vfunnel, varie de 9 à 11 s.

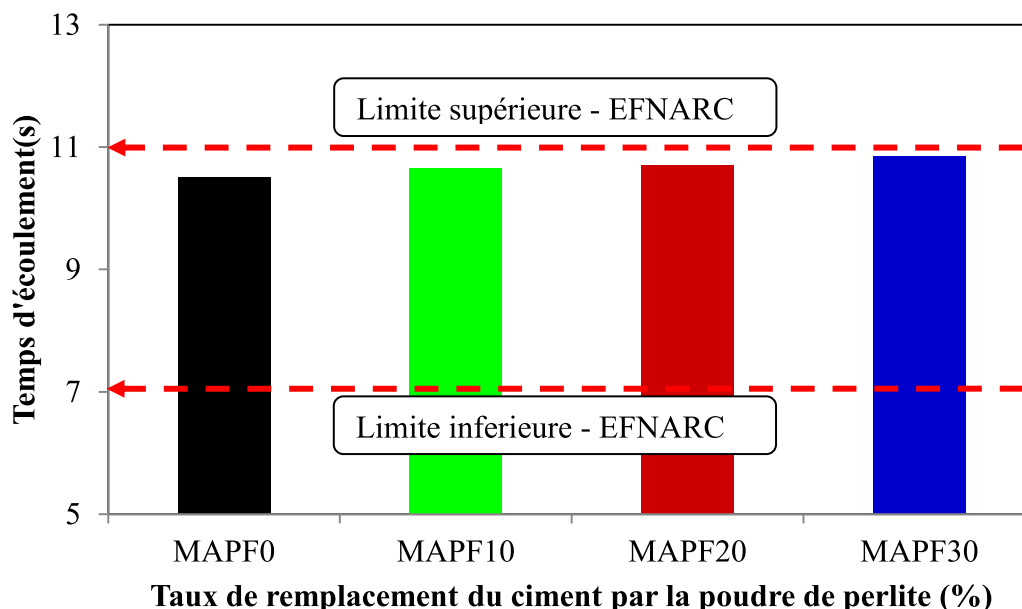


Figure 5.2 – Evolution du temps d'écoulement des mortiers de réparation MAPFs.

Nous constatons que le remplacement du ciment par 10% (MAPF10), 20% (MAPF20) et 30% (MAPF30) n'a pas engendré une augmentation du temps d'écoulement de ces mortiers par rapport au mélange de contrôle MAPF0 malgré que le dosage de superplastifiant a légèrement augmenté. Cependant, il convient de noter que tous les mortiers de réparation étudiés ont satisfait les exigences d'écoulement (supérieures à 7s) spécifiés par l'EFNARC.

5.3.3 Densité apparente fraîche

La Figure 5.3 nous montre l'évolution de la densité apparente des mortiers frais en fonction du remplacement du ciment par la poudre de perlite naturelle.

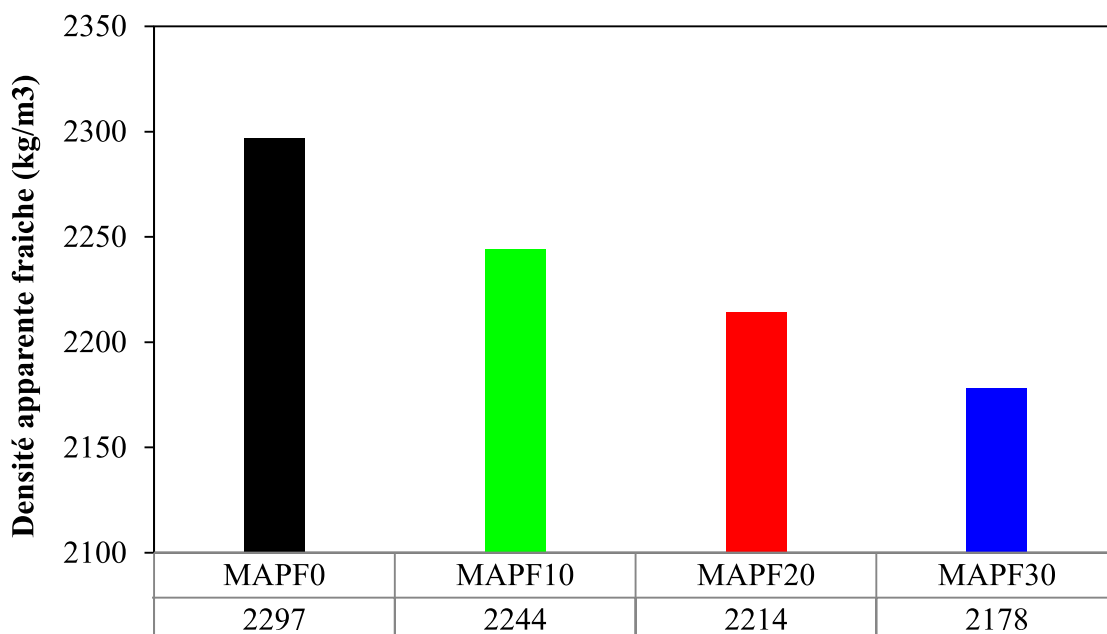


Figure 5.3 – Evolution de la densité apparente des mortiers frais.

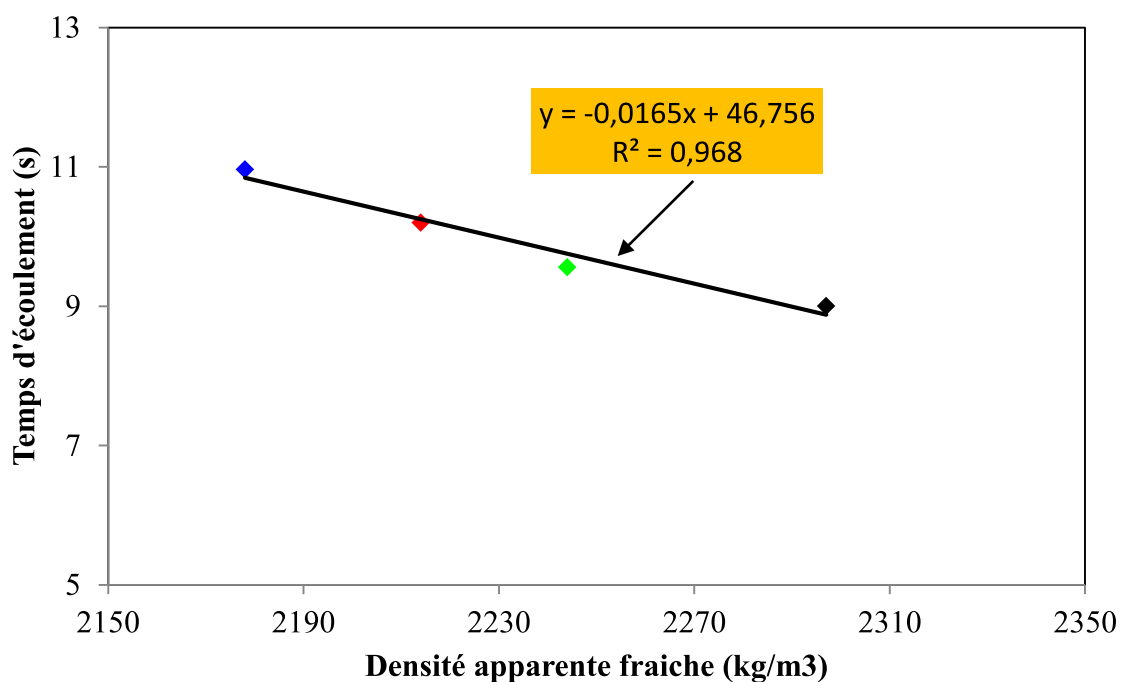


Figure 5.4 – Corrélation entre le temps d'écoulement et la densité apparente des mortiers frais.

Nous constatons d'après la [Figure 5.3](#) que la densité apparente des mortiers frais diminue en fonction du remplacement du ciment par la poudre de perlite. La densité apparente la plus élevée (2297 kg / m³) du mortier frais a été constatée pour le mortier de référence MAPF0 (100% de CEMI).

Cependant, la valeur la plus réduite de la densité apparente du mortier frais ($2178 \text{ kg} / \text{m}^3$) a été obtenue pour le mortier MAPF30, contenant 30% de poudre de perlite en remplacement du ciment. Ceci est attribué à la faible densité de la poudre de perlite par rapport à celle du ciment (Hasan et al. 2015).

En outre, il a été constaté selon la Figure 5.4, l'existence d'une forte corrélation ($R^2 = 0.968$) entre les valeurs de la densité apparente fraîche des mortiers et celles du temps d'écoulement au Mini V funnel. En effet, plus la densité fraîche des mortiers diminue, plus est le temps d'écoulement.

5. 3. 4 Temps de prise

Le temps de prise des mélanges de mortiers étudiés est représenté sur la Figure 5.5.

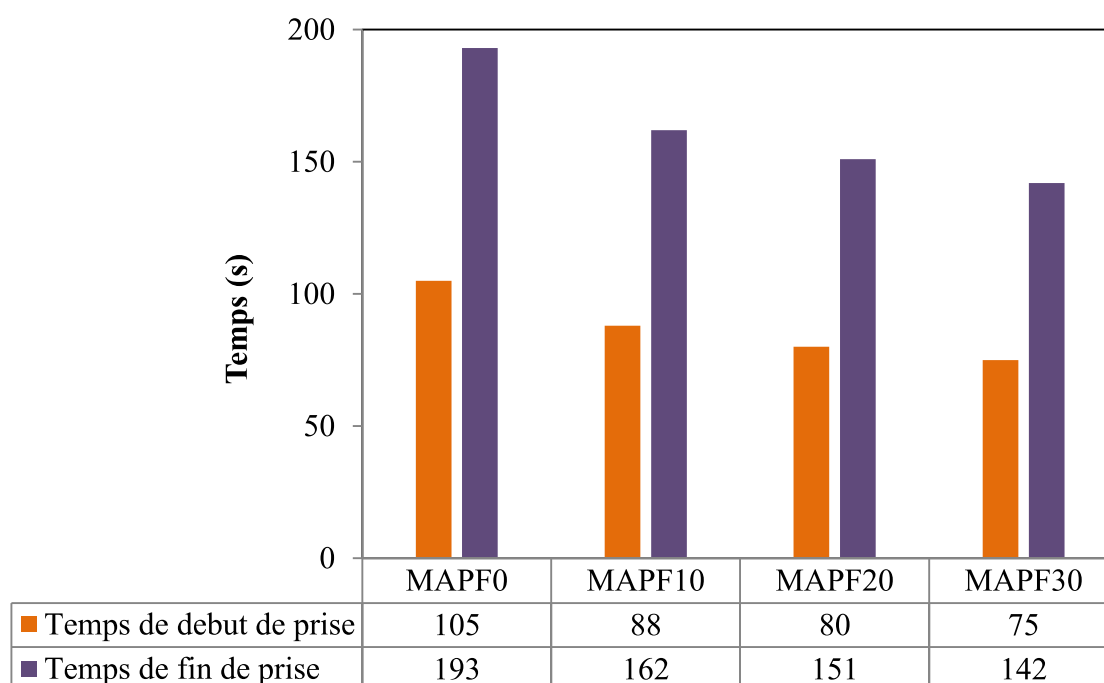


Figure 5.5 – Variation du temps de prise pour les mélanges de mortiers MAPFs.

Nous constatons d'après cette Figure que le remplacement du ciment par 10 %, 20 % et 30% de poudre de perlite naturelle dans les mélanges de mortiers MAPF10, MAPF20 et MAPF30 a engendré une réduction du temps de prise (début et fin de prise) de ces mortiers par rapport au mélange de mortier de contrôle .

En effet, ces mortiers ont montré des réductions de 17, 25 et 30 minutes respectivement, par rapport à celui du mélange de contrôle MAPF0.

Cependant, les réductions du temps de fin de prise enregistré pour ces mortiers sont de 31, 42 et 51 minutes respectivement, pour les mortiers MAPF0, MAPF10, MAPF20 et MAPF30 par rapport à celui du mélange de contrôle.

En effet, nos résultats sont conformes aux exigences de la norme ASTM C 595 et ASTM C 1157 (liants pouzzolaniques) qui limitent le temps de début de prise à 45 min au minimum et le temps de fin de prise à 420 min au maximum.

La diminution du temps de prise (début et fin de prise) peut être attribuée à la taille plus fine des particules de la poudre de perlite naturelle par rapport à celle du ciment, ce qui se traduit par une surface beaucoup plus grande disponible pour la réaction et donc un taux d'hydratation et de prise plus rapide. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés dans la littérature (Batis et al. 2005, Brooks et al. 2000).

5.4 Etude des propriétés des MAPF_s à l'état durci

5.4.1 Densité apparente sèche

La Figure 5.6 nous montre l'évolution de la densité apparente sèche des mortiers de réparation, à l'âge de 28 jours.

L'examen de cette Figure, nous montre également une diminution des valeurs de la densité apparente sèche des mortiers, en fonction de l'augmentation du taux de remplacement du ciment par la poudre de perlite.

Comme nous le constatons sur les Figures 5.3 et 5.6 que les valeurs de la densité apparente sèche des mortiers étudiés (de 2209 à 2053 kg/m³) ont été inférieures à celles de l'état frais (de 2297 à 2178kg/m³).

Encore une fois, dans tous les mortiers de réparation, la plus faible densité (2053 kg/m³), a été obtenue pour le mortier contenant 30% (MAPF30) de perlite en remplacement du ciment, ce qui signifie une réduction de la valeur de la densité sèche de 7 % par rapport au mortier de contrôle MAPF0.

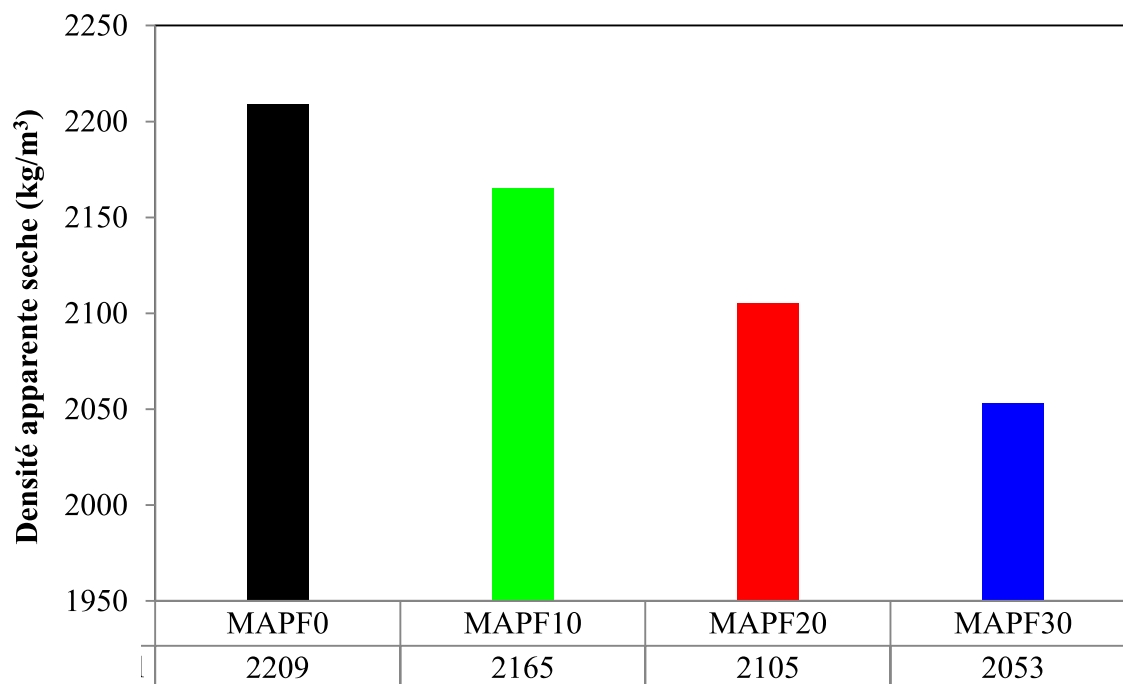


Figure 5.6 – Evolution de la densité apparente des mortiers durcis.

Ceci est probablement dû à l'inclusion de la poudre de perlite dans les mélanges de mortiers MAPF_s, qui a engendré une réduction de la valeur de la densité apparente des mélanges de mortier (Burak 2015). Certes, une telle diminution est souhaitable du point de vue diminution de la charge permanente des structures réparées.

5.4.2 Coefficient de conductivité thermique

Les résultats de la conductivité thermique λ des mortiers de réparation fabriqués au laboratoire sont indiqués à la Figure 5.7. Etant donné que la teneur en humidité affecte la diffusivité thermique, tous les échantillons ont été testés en condition anhydre (Khan 2002).

Nous constatons d'après cette Figure que le remplacement du ciment par 10%, 20% et 30% de poudre de perlite dans les mélanges de mortiers MAPF10, MAPF20 et MAPF30 a un effet positif sur le coefficient de conductivité thermique de ces mortiers. En effet, plus le ciment est remplacé par la poudre de perlite, moins est le coefficient de conductivité thermique (mortiers isolants).

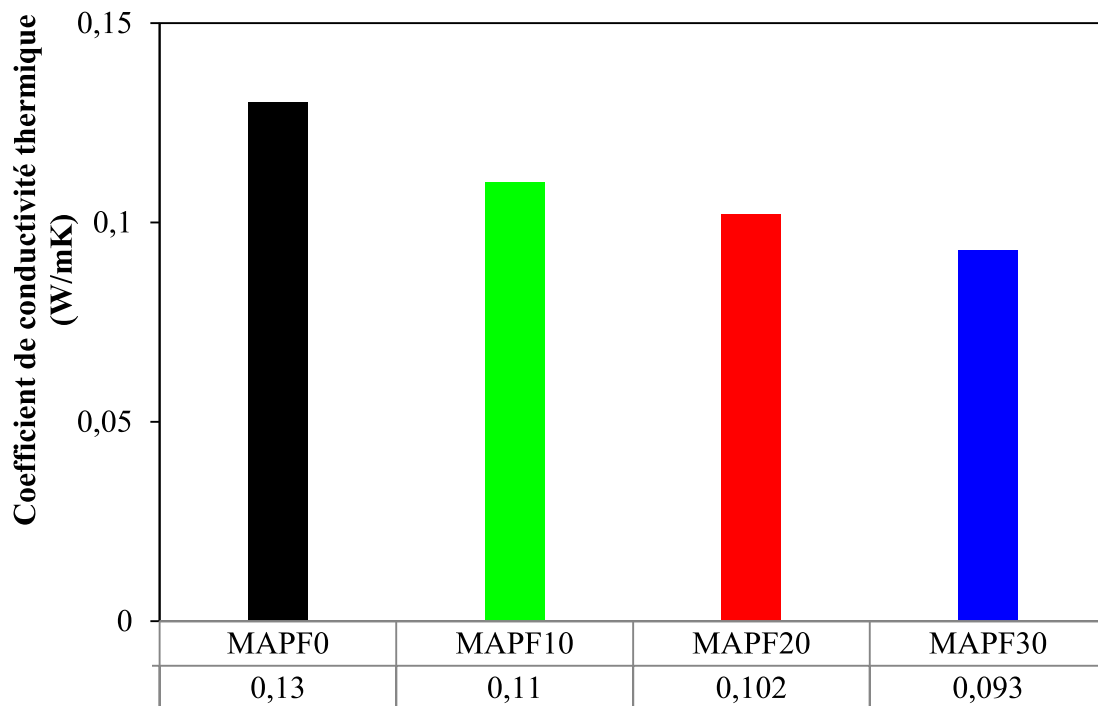


Figure 5.7 – Evolution du coefficient de conductivité thermique des MAPFs.

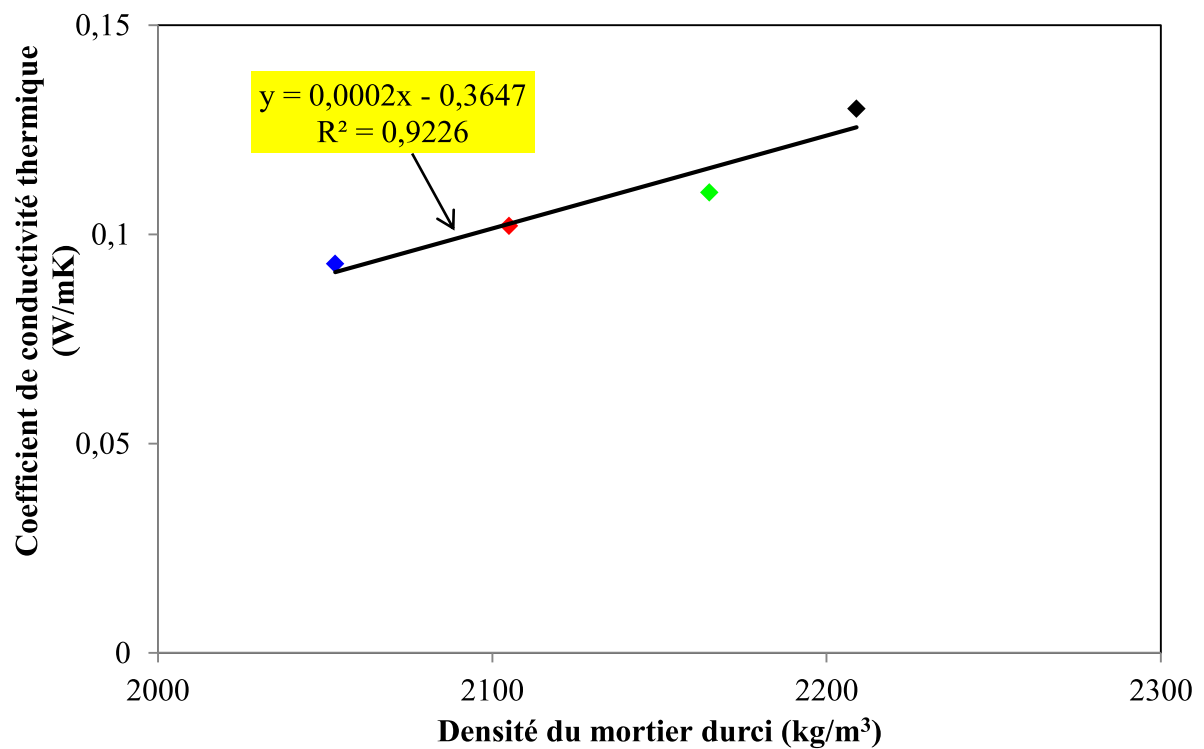


Figure 5.8 – Corrélation à l'âge de 28 jours entre le coefficient de conductivité thermique et la densité apparente des MAPFs.

Les mélanges de mortier contenant la poudre de perlite ont affiché des réductions de la valeur du coefficient de conductivité thermique de 15.4%, 21.5% et 28.5% par rapport au mélange de mortier de contrôle MAPF0.

[Sengul et al. \(2011\)](#) ont également fait la même constatation en attribuant ce phénomène à la porosité élevée de la perlite. La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction.

Cette constante apparaît par exemple dans la loi de Fourier et elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par une unité de temps sous un gradient de température. La porosité est l'un des facteurs qui influent sur la conductivité thermique du béton voir mortier et les pores fermés réduisent la conductivité en raison de la faible conductivité thermique de l'air.

Le remplacement du ciment par la perlite augmente la porosité totale du béton qui affecte la conductivité thermique ([Demirboga et al. 2003](#)). L'entraînement de l'air pourrait également contribuer à réduire la diffusivité thermique des mélanges de mortiers.

Comme on le voit sur la [Figure 5.8](#), il existe une bonne relation forte ($R^2 = 0,92$) entre la densité apparente des mortiers secs et la conductivité thermique des mélanges de mortiers. La faible diffusivité thermique et la faible densité apparente, combinées permettent à ces mélanges de mortiers d'être largement utilisés comme matériaux de réparation isolants.

5.4.3 Résistances mécaniques

Les [Figures 5.9 et 5.10](#), montrent l'évolution de la résistance en compression et en flexion des mortiers contenant la poudre de perlite en remplacement du ciment.

L'examen de ces figures, montre une augmentation continue des résistances en fonction de l'augmentation de l'âge (1, 7 et 28 jours).

Nous constatons d'après la [Figure 5.9](#), qu'à tous les âges, les valeurs des résistances en compression des mortiers contenant la perlite (MAPF10, MAPF20 et MAPF30) sont inférieures à celles du mortier de référence MAPF0.

La valeur de résistance à la compression la plus élevée a été observée pour le mortier de contrôle (MAPF0), suivie par celle du mortier MAPF10, puis par MAPF20, et en fin par MAPF30. Ceci a bien été constaté par [Turanli et al. \(2005\)](#).

Aux jeunes âges (2 jours), les réductions des valeurs de résistance à la compression pour les mortiers contenant la perlite par rapport au mortier de référence MAPF0, sont de 14%, 30% et

44%, respectivement, pour les mortiers MAPF10, MAPF20 et MAPF30. Les réductions de résistances correspondantes à l'âge de 7 jours sont respectivement, de 13%, 29% et 38%.

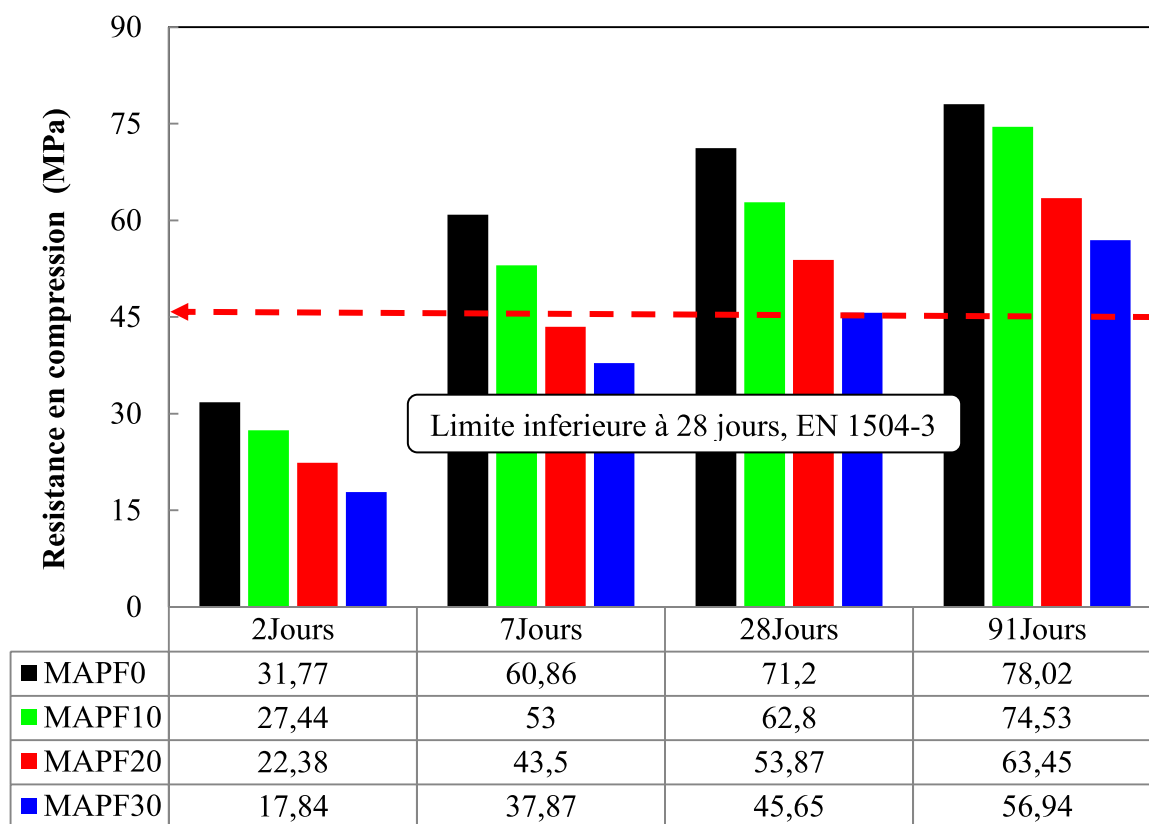


Figure 5.9 – Evolution des résistances en compressions des MAPFs en fonction de l'âge.

A l'âge de 28 jours, ces réductions sont de 12%, 24% et 36%, alors qu'à l'âge de 91 jours elles sont de 5%, 19% et 27%.

Selon nos résultats, nous constatons que la résistance à la compression des mortiers contenant la poudre de perlite est étroitement liée à sa densité. En effet, un taux plus élevé de remplacement du ciment par la poudre de perlite, a engendré une microstructure plus poreuse, conduisant à une densité plus faible du mortier et par conséquent à une plus faible résistance à la compression. En outre, l'espace poreux affecte à la fois la nucléation ainsi que la croissance des hydrates.

Dans cette étude, la perlite avait une faible réactivité à l'âge de 7 jours (réduction de la résistance à la compression).

À long terme (91 jours), les résistances à la compression des mortiers avec de la poudre de perlite ont été améliorées en raison du développement de la réaction pouzzolanique. Les mortiers contenant de la poudre de perlite présentent un gain de résistance à la compression

sensiblement plus élevé que celui du mortier de contrôle MAPF0 comme le montre la même [Figure](#).

Par exemple, la réduction de la résistance à la compression pour le mélange MAPF10 est de 14%, 13%, 12% et 5%, respectivement, à l'âge de 2, 7, 28, 91 jours. nous constatons également que la résistance à la compression à l'âge de 91 jours pour un taux de substitution de 10% est proche à celle du mortier témoin (seulement 5% de réduction). Le taux accéléré de développement de résistance en fonction du temps était dû à la réactivité pouzzolanique de la poudre de perlite.

Ceci s'explique par la plus grande quantité d'hydrates secondaires (C-S-H) formés lors des réactions pouzzolaniques avec la chaux résultant des produits d'hydratation primaire du ciment qui remplissent les vides dans les mortiers contenant la poudre de perlite, par rapport au témoin. Cette constatation est cohérente avec les résultats rapportés par [Uzal et al. \(2007\)](#).

En fin, il est important de noter que tous les mortiers de réparation étudiés ont une résistance à la compression à l'âge de 28 jours supérieure à 45 MPa, conforme aux exigences des mortiers de réparation de classe R4 selon la norme EN 1504-3.

Nous constatons d'après la [Figure 5.10](#) que la résistance à la flexion de tous les mélanges de mortiers étudiés, augmente jusqu'à l'âge de 91 jours comme constaté pour les résistances en compression.

Par exemple, à l'âge de 7 jours, les réductions des valeurs de résistance à la flexion des mortiers contenant la poudre de perlite par rapport au mélange de mortier de contrôle sont de 11,46%, 28,50% et 36,32%, respectivement pour les mortiers MAPF10, MAPF20 et MAPF30.

A long terme (91 jours), les réductions des valeurs de résistance à la flexion des mêmes mortiers par rapport au mélange de mortier de référence MAPF0 sont respectivement, de 2,64%, 13,86% et 16,61%.

Comme on peut le voir sur la figure, cette diminution (11,46% à 2,64%) est réduite à 10% pour le mortier MAPF10 à l'âge de 91 jours, en raison des effets positifs de la réaction pouzzolanique et de l'effet de remplissage.

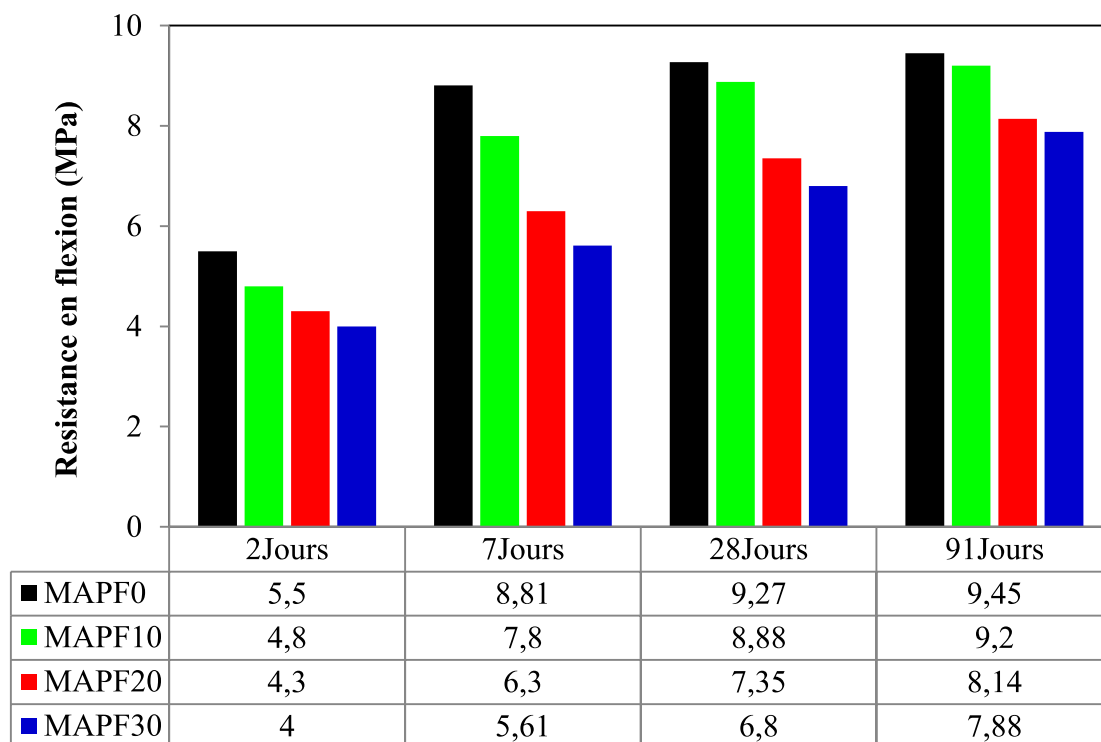


Figure 5.10 – Evolution des résistances en flexion des MAPFs en fonction de l’âge.

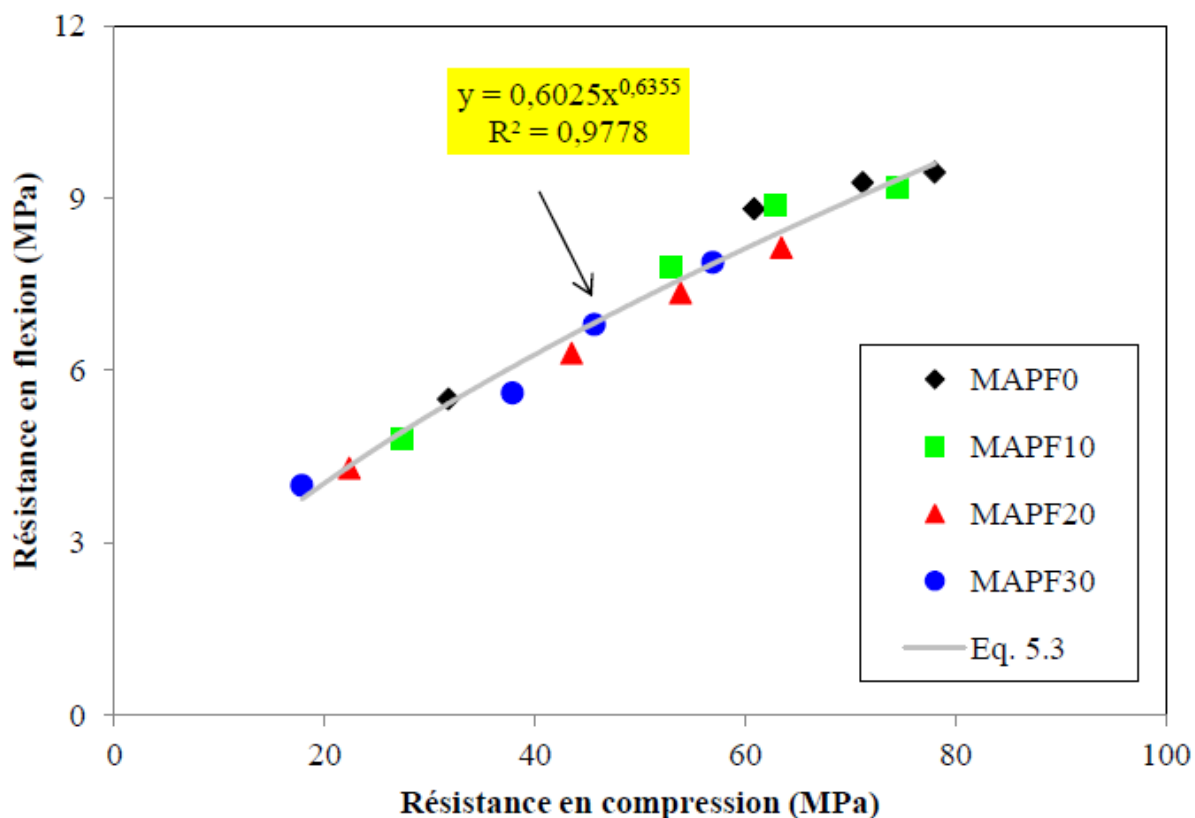


Figure 5.11 – Corrélation à tous les âges (2, 7, 28 et 91 jours) entre la résistance en compression et la résistance en flexion des mortiers étudiés.

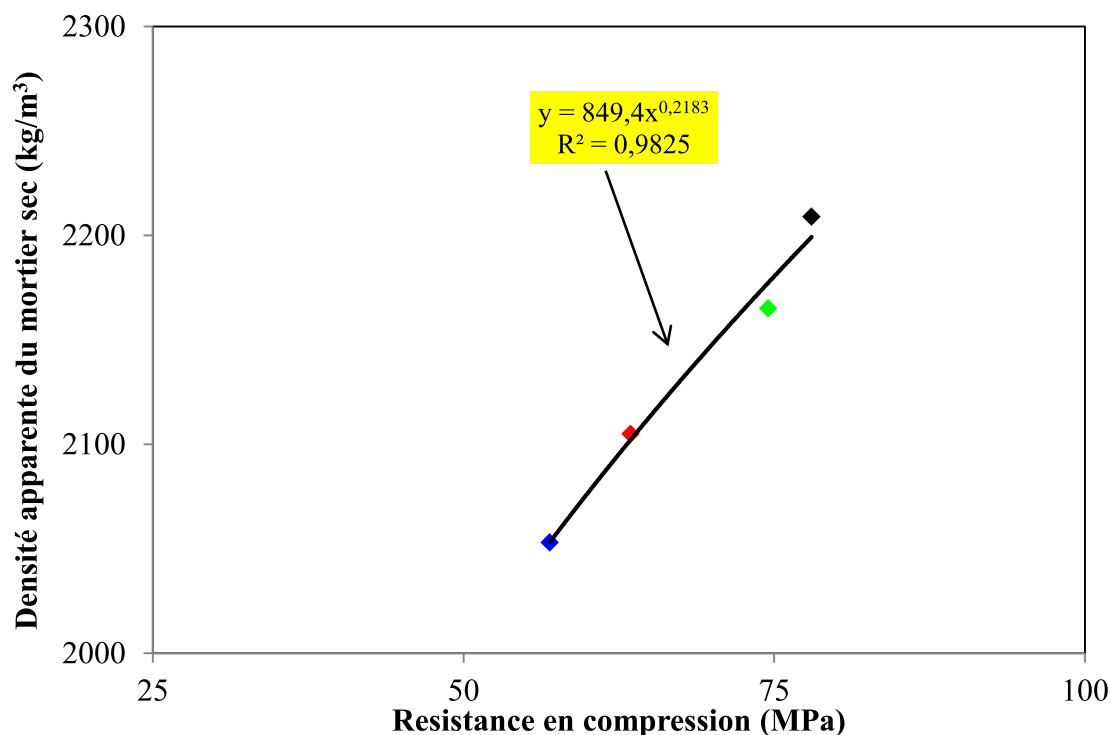


Figure 5.12 – Corrélation à l'âge de 28 jours entre la résistance en compression et la densité des mortiers durcis.

Nous constatons d'après la [Figure 5.11](#) que la résistance en flexion est liée à la résistance en compression selon une loi de puissance comme le montre l'équation 5.3 ci-dessous, avec un excellent coefficient de détermination de $R^2 = 0.977$.

$$f_t = 0.6 (f_c)^{0.64} \quad (5.3)$$

En outre, d'après la [Figure 5.12](#), il existe une bonne corrélation entre les valeurs de résistance à la compression et celles de la densité des mortiers durcis à l'âge de 28 jours avec $R^2 = 0.98$. En effet, selon cette [Figure](#), plus est la résistance en compression, plus est la densité des MAPFs durcis.

5.4.4 Module d'élasticité dynamique (E_D)

Le module d'élasticité dynamique (ED) des quatre types de mortiers de réparation (MAPFs) étudiés, est mesuré après 2, 7, 28 et 91 jours et les résultats sont présentés sur la [Figure 5.13](#).

Nous constatons que l'évolution des valeurs du module de Young des mortiers suit la même tendance que celle de la résistance à la compression, où le remplacement du ciment par 10%, 20% et 30% de poudre de perlite a affecté négativement le module d'élasticité dynamique (ED) des mélanges de mortiers.

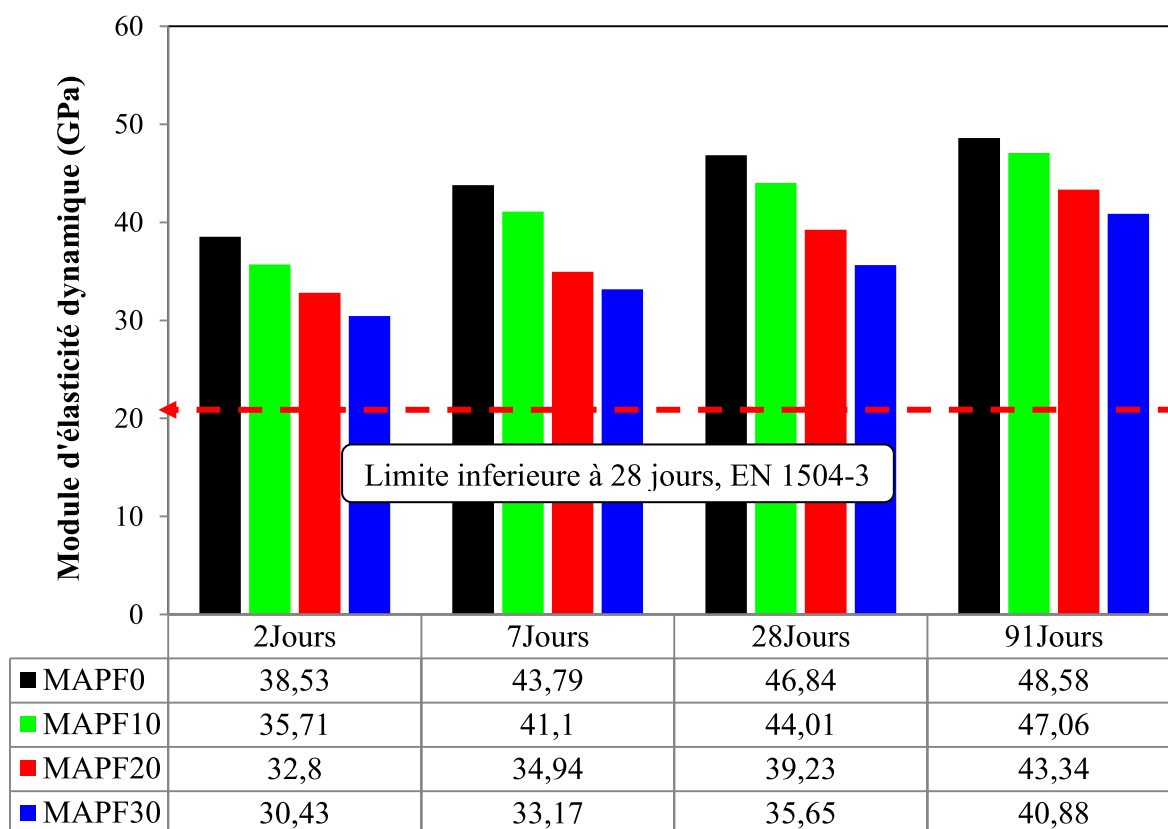


Figure 5.13 –Evolution du module de Young des MAPFs en fonction de l'âge.

Au jeune âge (2 jours), la valeur ED du mortier témoin MAPF0 est de 38,5 GPa comparativement à 30,4 GPa pour le mélange de mortier MAPF30 (environ 21% inférieur). A long terme (91 jours), ce ratio a été réduit à 16% en raison des effets positifs de la réaction pouzzolanique.

Nous avons également constaté que la valeur du module dynamique d'élasticité pour le mélange de mortier contenant d 10% de poudre de perlite (47.1GPa) est comparable à celui du mortier de contrôle (48,6 GPa).

On sait que le principal inconvénient du béton voir mortier léger est la perte du module d'élasticité par rapport à la réduction de la résistance à la compression (Chi et al. 2003). En effet, le module d'élasticité du mortier est fonction du module d'élasticité des constituants (c'est-à-dire la pâte de ciment durci et le mortier).

Contrairement au mortier ordinaire, la perlite a réduit la densité des mélanges de mortiers en raison de sa faible densité par rapport à celle du ciment. Des valeurs inférieures de module d'élasticité ont été obtenues lorsque la teneur en perlite augmente. Ce résultat est conforme avec celui de ACI-213 R (2003).

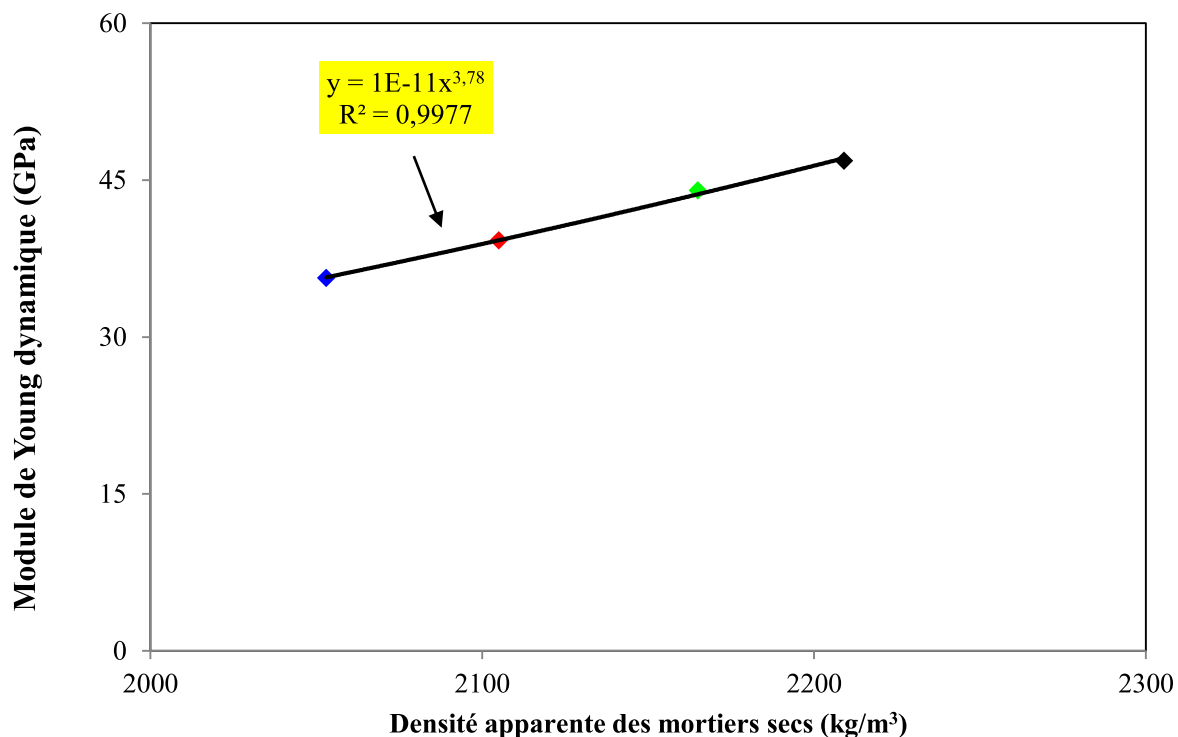


Figure 5.14 – Corrélation à l’âge de 28 jours entre le module de Yong dynamique et la densité apparente des MAPFs.

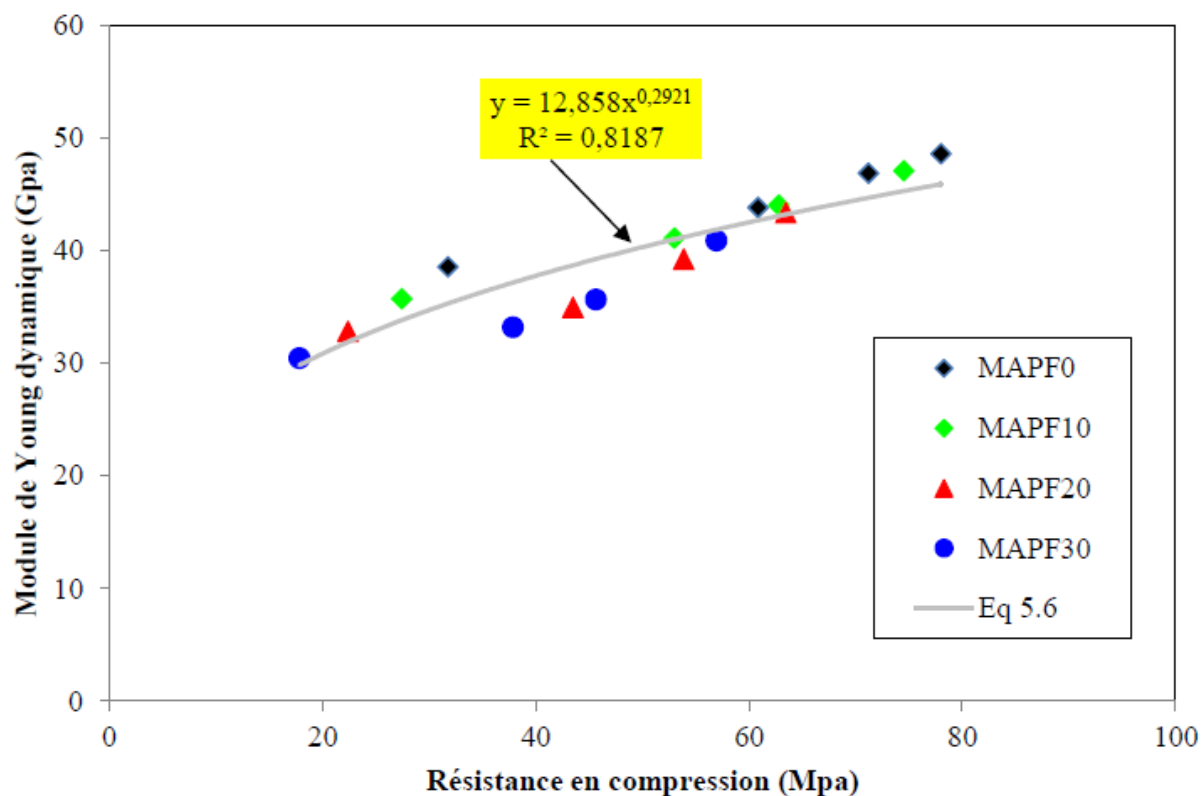


Figure 5.15 – Corrélation à tous les âges (2, 7, 28 et 91 jours) entre la résistance en compression et le module de Young dynamique des MAPFs.

Ceci est bien illustré dans la [Figure 5.14](#) où une bonne corrélation a été constatée entre les valeurs du module d'élasticité dynamique ED et celles de la densité apparente des mortiers durcis avec un excellent coefficient de détermination $R^2 = 0.997$.

Nous constatons également d'après la [Figure 5.15](#) que le module de Young des mortiers de réparation étudiés est lié à la résistance en compression selon une loi de puissance comme le montre l'équation 5.4 ci-dessous, avec un excellent coefficient de détermination de $R^2 = 0.82$.

$$E_D = 12.9f_c^{0.3} \quad (5.4)$$

Il est à noter qu'à l'âge de 28 jours, tous les mortiers ont montré des valeurs de module d'élasticité supérieure à la limite inférieure (20GPa) requise par la norme EN 1504-3 pour les mortiers de réparation de classe R4.

5.4.5 Variations dimensionnelles

La variation de longueur des quatre types de mortiers de réparation (MAPFs) étudiés, est mesurée après l'âge de 28 jours et les résultats sont présentés sur la [Figure 5.16](#).

Nous constatons d'après cette [Figure](#) que le remplacement du ciment par la poudre de perlite a engendré des valeurs de retrait inférieures à celles du mortier de contrôle MAPF0. En effet, pour tous les mortiers étudiés, les valeurs de retrait enregistrées sont inférieures à 1.2mm/m, valeur exigée pour les mortiers ([Thomasson 1982](#)).

Le remplacement du ciment par 30% de poudre de perlite dans le mélange de mortier MAPF30 a affiché une réduction significative de la valeur de retrait (60%) par rapport à celui du mélange de contrôle MAPF0. Cependant, le remplacement du ciment par 10% de poudre de perlite dans le mélange de mortier MAPFs a engendré une réduction de la valeur du retrait de 26% par rapport à celui du mortier de contrôle.

En effet, la perlite agit comme un réservoir en absorbant de l'eau à l'état frais. Au cours de durcissement l'eau est libérée graduellement. Par conséquent, l'eau libérée contribue à restaurer une partie de l'eau qui a été utilisée au cours de l'hydratation voire évaporée pendant le séchage.

Ce résultat est conforme avec ceux de plusieurs chercheurs ([Zhutovsky et al. 2012](#), [Akçay, 2007](#), [Neville et al. 1998](#), [Oliviera et al. 2014](#), [Varga et al. 2012](#), [Jensen et al. 2001](#), [Bentur et al. 2001](#)) qui sont unanimes que l'utilisation des matériaux poreux dans la matrice cimentaire ont un effet bénéfique sur la réduction significative du retrait.

En résumé, le retrait des mortiers étudiés (de 455 à 180 $\mu\text{m/m}$) est inférieur à celui du béton de substrat (1150 $\mu\text{m/m}$). Ce ci peut assurer une pérennité de ces mortiers de réparation en raison de leur compatibilité deformationnelle constatée.

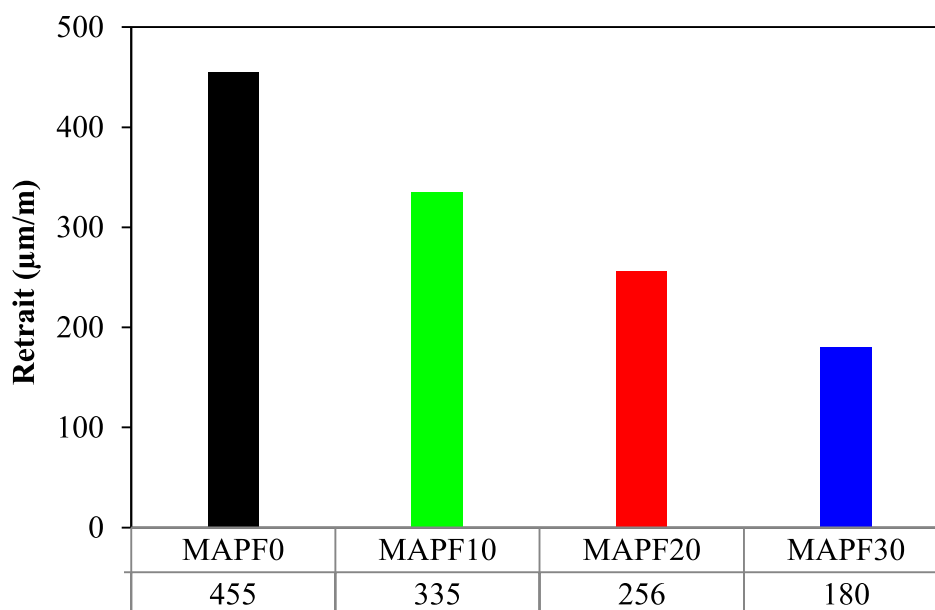


Figure 5.16 – Evolution du retrait de séchage des MAPFs à l'âge de 28 jours.

5.5 Propriétés de durabilité (absorption d'eau par capillarité)

Les résultats de la densité apparente du mortier sec et ceux de l'absorption en eau (Figures 5.17 et 5.18) ont permis de comprendre la microstructure des mélanges de mortier de réparation étudiés.

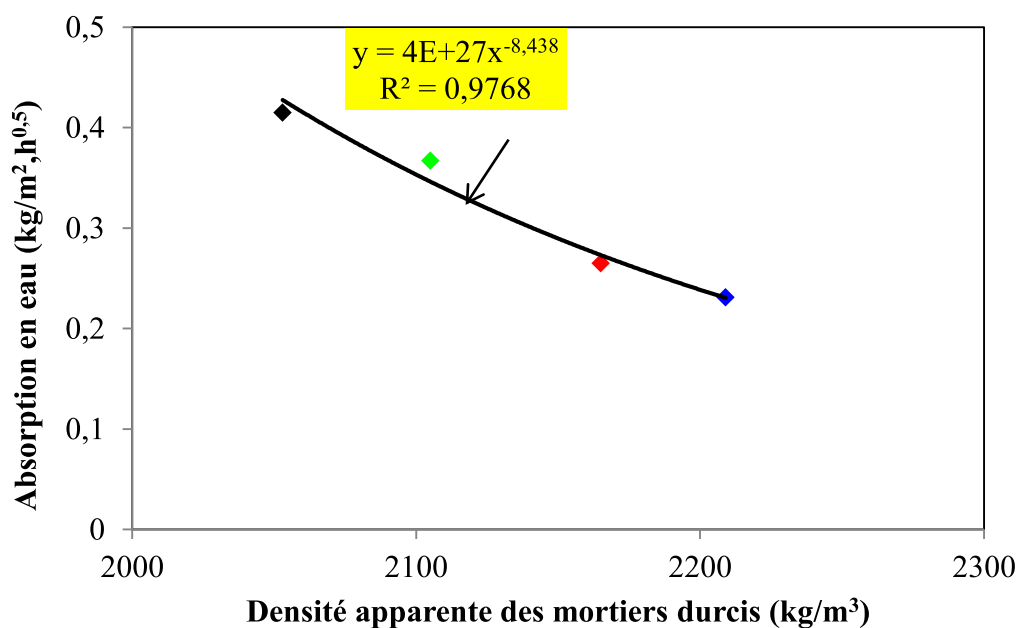


Figure 5.17 – Influence de la poudre de perlite sur l'absorption en eau des MAPFs.

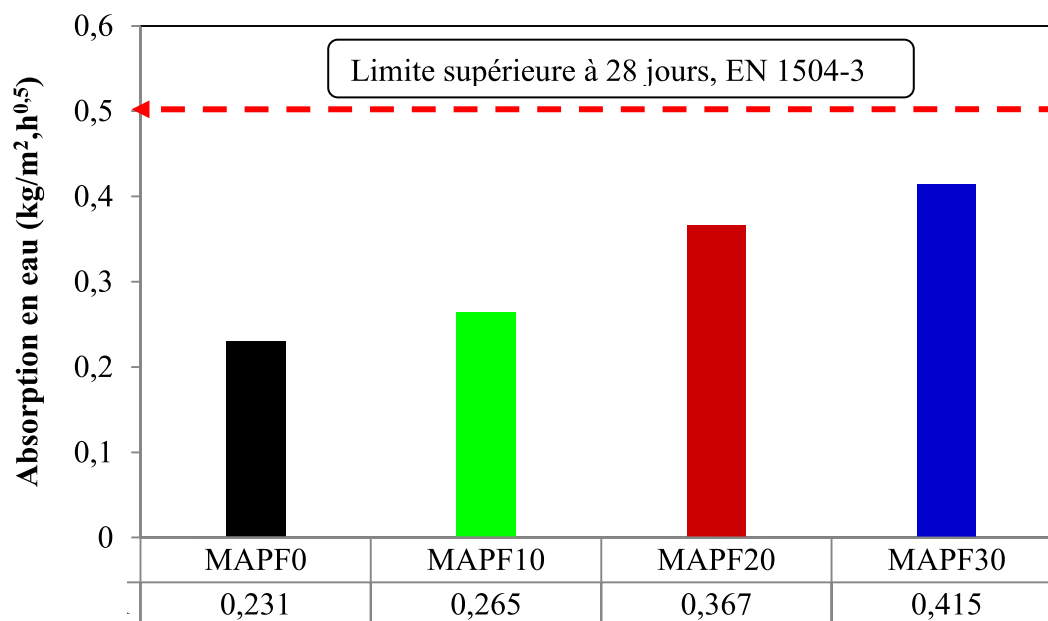


Figure 5.18 – Evolution de l'absorption en eau des mortiers, après 24 heures.

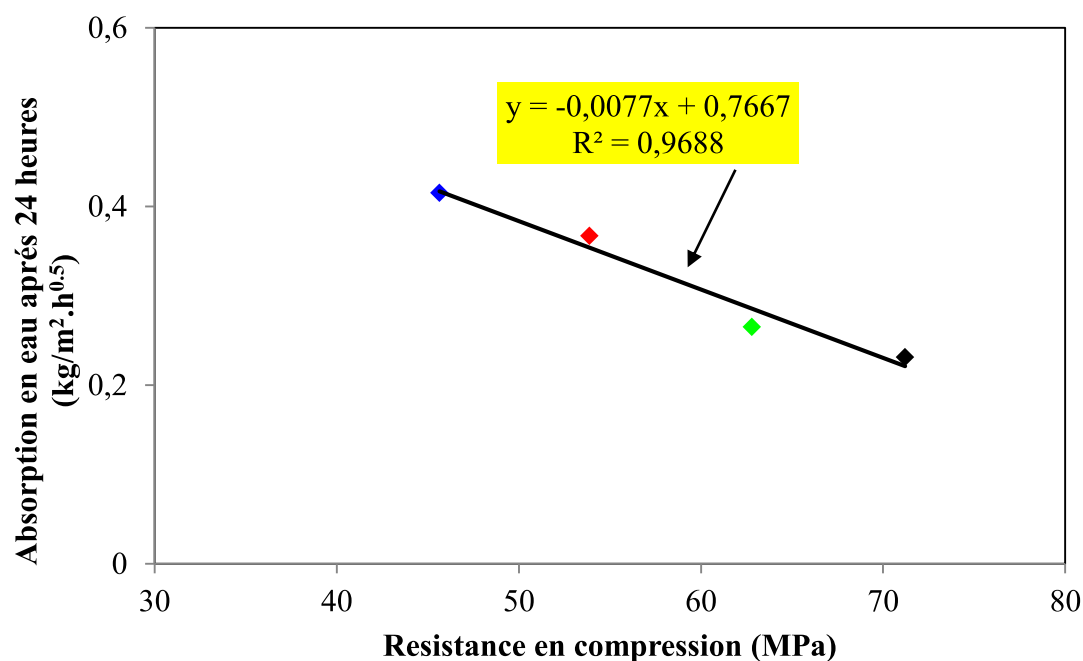


Figure 5.19 – Corrélation entre l'absorption en eau et la résistance en compression des MAPFs à l'âge de 28 jours.

L'examen de la [Figure 5.17](#) nous montre que le mélange de mortier de référence MAPF0 a présenté la valeur la plus élevée de la densité apparente sèche ainsi que la valeur la plus faible de l'absorption en eau. Cependant, le contraire est constaté pour les mortiers contenant la poudre de perlite naturelle.

En effet, le remplacement du ciment par 10% (MAPF10), 20% (MAPF20) et 30% (MAPF30) de poudre de perlite a engendré une diminution de la densité apparente de ces mortiers et a conduit à des valeurs plus élevées d'absorption d'eau. Cette constatation est en accord avec celle de [Lanzón et al. \(2008\)](#).

En outre, la [Figure 5.18](#) montre clairement que les valeurs d'absorption d'eau à 24 heures ($0,231 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ à $0,415 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$) sont conformes avec celles exigées par la norme EN 1504-3 (moins de $0,5 \text{ kg} / \text{m}^2 / \text{h}^{0,5}$), relatifs aux mortiers de réparation de classe R4.

Nous avons aussi constaté que la valeur d'absorption d'eau pour le mortier contenant 10% de poudre de perlite ($0,231 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$) est comparable avec celle du mortier de référence ($0,265 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$).

Cependant, l'absorption d'eau du mortier contenant 30% de poudre de perlite (MAPF30) est presque deux fois plus élevée ($0,415 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$) que celle du mortier contenant 10% de perlite. Ce qui signifie que l'absorption d'eau dépend du nombre de vides générés lors du remplacement du ciment par la perlite. L'absorption d'eau élevée peut affecter la durabilité des mélanges puisque la plupart des substances agressives sont transportées dans le béton voir mortier avec de l'eau ([Demirboga et al. 2003](#)).

Dans notre cas d'étude, nous avons remplacé le ciment jusqu'à 30% de poudre de perlite, cependant ce taux élevé n'a pas compromis en rien la durabilité du mélange. En effet, selon la [Figures 5.19](#), il existe une forte relation entre l'absorption d'eau et la résistance à la compression ($R^2 = 0,968$). Lorsque les valeurs d'absorption d'eau des mortiers de réparation augmentent, la résistance à la compression des mortiers diminue.

5.6 Adhérence par essai de cisaillement oblique

Les résultats expérimentaux des résistances de cisaillement oblique (slant shear strength) à l'âge de 1, 7 et 28 jours et les modes de rupture correspondantes des éprouvettes cylindriques (composites) sont présentés respectivement dans les [Tableaux 5.3 et 5.4](#).

Nous avons constaté que l'essai de cisaillement oblique effectué sur les composites MAPFs/BS a engendré trois différents modes de défaillance pour ces composites étudiés.

Au jeune âge (1 jour) de durcissement, le type de défaillance pour tous les mortiers de réparation sont constatés au niveau de l'interface ([Tableau 5.3](#)).

A l'âge de 7 jours de durcissement, un mode de défaillance monolithique apparaît avec la propagation de la fissure à travers les mortiers de réparation et le substrat de béton (BS) pour

tous les composites (MAPFs/BS). Nous avons constaté que les substrats sont fortement endommagés, et quelque légères fissures se trouvant sur le mortier de réparation.

A l'âge de 28 jours de durcissement, tous les composites se sont atteints au niveau des substrats de béton (BS). A l'exception du composite MAPF30 / BS qui a montré le même mode de défaillance que celui constaté au 7^{ème} jour (défaillance monolithique).

Les résultats présentés au [Tableau 5.3](#), montrent que la résistance au cisaillement oblique des composites, diminue avec le remplacement du ciment par la poudre de perlite dans les mélanges de mortiers MAPFs. Ceci est probablement attribué à la faible rigidité de la perlite, en raison du nombre important de vides voire une grande porosité qu'elle contient.

Tableau 5.3 – Mode de défaillance des composites – Essai de cisaillement oblique.



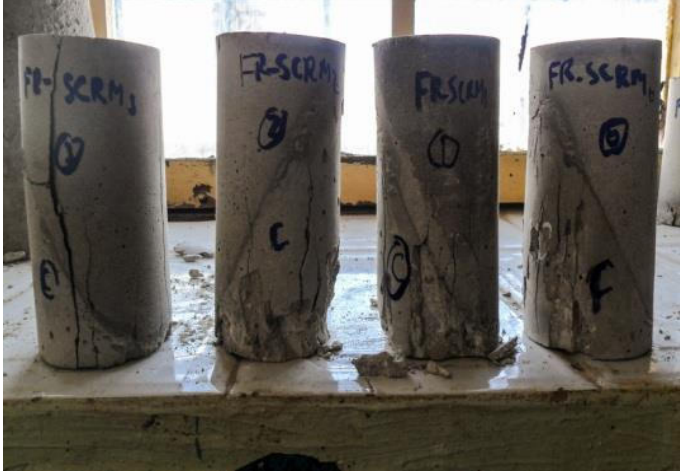
Age (jours)	Mode de défaillance
1	 <p style="text-align: center;">Décollement</p>
7	 <p style="text-align: center;">Défaillance monolithique</p>
28	 <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> <p>Défaillance monolithique</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Défaillance au substrat</p> </div> </div>

Tableau 5.4 – Résultats des essais de résistance au cisaillement oblique.

Composite	Force de rupture [kN]			Resistance en compression [MPa]			Resistance au cisaillement oblique (Adhérence) [MPa]		
	1 J	7J	28 J	1 J	7J	28 J	1 J	7J	28 J
MAPF0/BS	44.20	108.90	148.40	10.01	24.66	33.61	05.00	12.33	16.80
MAPF10/BS	38.00	96.50	143.36	08.61	21.85	30.87	04.30	10.87	16.23
MAPF20/BS	31.70	88.00	130.20	07.18	19.93	29.49	03.59	09.96	14.74
MAPF30/BS	25.60	70.50	123.05	05.80	15.96	27.87	02.90	07.98	13.93
ACI	--	--	--	--	--	--	2.8-6.9	6.9-12.4	13.8-20.1

Dans le même [Tableau](#), nous constatons que entre l'âge de 1 à 7 jours et de 7 à 28 jours de durcissement, le remplacement du ciment par 10% de poudre de perlite est très bénéfique en terme d'adhérence du mortier MAPF10 sur le substrat de béton BS, que les autres mortiers contenant 20 (MAPF20) et 30% (MAPF30) de poudre de perlite.

Cela veut dire que le composite MAPF10/BS a montré la plus faible valeur de l'écart de résistance au cisaillement oblique (adhésion). Cet écart est de 14%, 11,84% et 3,4%, par rapport à celui du composite de contrôle MAPF0 / BS.

Aux mêmes âges (1, 7 et 28 jours) et pour le composite MAPF30 / BS, les écarts des valeurs de l'adhérence se sont augmentés, ils sont en effet, de 42%, 35,28% et 17%, respectivement. Nous pouvons conclure que l'une des raisons possibles de la plus forte liaison entre le mortier contenant 10% de poudre de perlite (MAPF10) et le substrat de béton est l'utilisation d'une plus grande quantité de ciment dans les mélange de mortiers MAPF10, par rapport aux mélanges MAPF20 et MAPF30.

Il a été rapporté qu'une plus grande quantité de ciment peut mieux pénétrer à l'intérieur des pores de la surface de la poudre de perlite, par la suite elle améliore la zone interfaciale (Bogas et al. 2014).

Nous constatons d'après la Figure 5.20 que l'adhérence des mortiers étudiés est liée à la résistance en compression selon une loi de puissance comme le montre l'équation 5.5 ci-dessous, avec un excellent coefficient de régression de $R^2 = 0.977$.

$$f_a = 2.54f_c^{0.44} \quad (5.5)$$

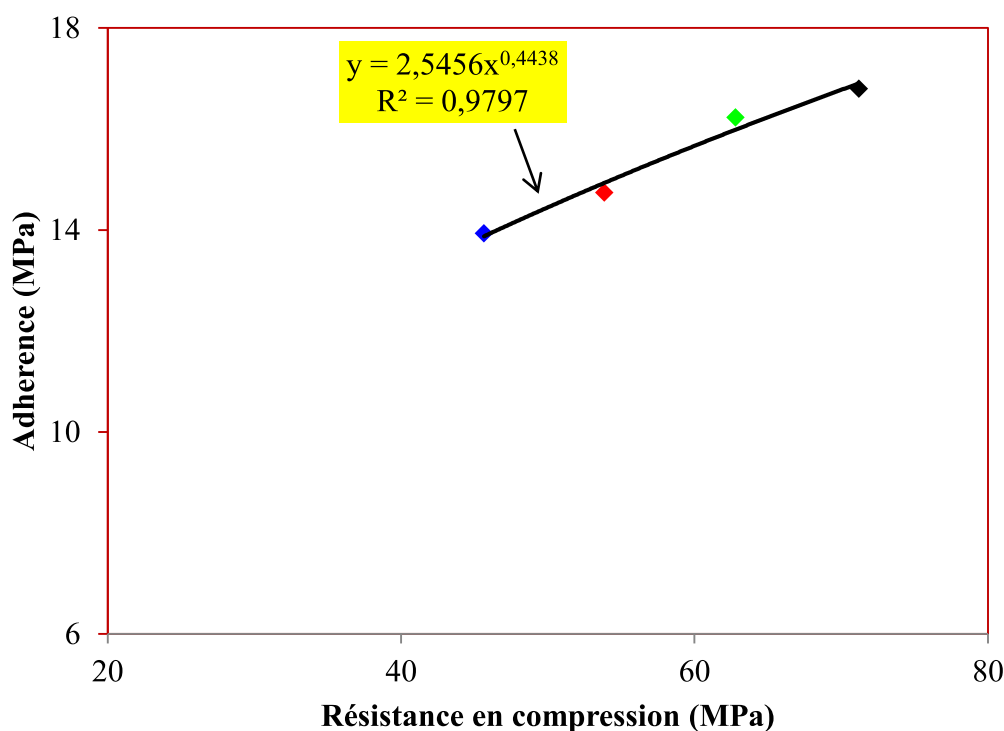


Figure 5.20 – Corrélation entre l'adhérence et la résistance en compression des MAPFs à l'âge de 28 jours.

Il est intéressant de noter que tous les mortiers de réparation étudiés présentent des valeurs de résistance au cisaillement oblique (adhésion) plus élevées que celle de la limite inférieure exigée dans le guide de réparation du béton - ACI 546R.

5.7 Influence du mode de cure sur l'épaisseur de la couche de réparation

5.7.1 Poutre réparée par une couche de 1cm d'épaisseur de mortier

La Tableau 5.5 et les Figures 5.21 et 5.22, montrent les résultats de compatibilité effectués par essai de flexion 4 points sur les poutres réparées (composites MAPF0/BS, MAPF1/BS, MAPF2/BS et MAPF3/BS), conservées dans trois milieux de cure distincts à savoir; 28 jours

à la température ambiante du laboratoire (20 ± 2)°C, 28 jours à la température ambiante du laboratoire (20 ± 2)°C+ 28 jours dans l'eau à (20 ± 2)°C et enfin, 28 jours à la température ambiante du laboratoire (20 ± 2)°C+ 28 jours dans l'étuve à 40°C.

Les photos présentées au [Tableau 5.5](#), indiquent un seul type de mode de défaillance dans les trois modes de durcissement. En effet, toutes les fractures se sont produites près de la mi-portée des poutres et aucun décollement du mortier de réparation n'a été observé. Par conséquent, les mortiers élaborés sont considérés comme compatibles ([Czarnecki et al. 1999](#), [Pattnaik et al. 2007](#)).

Un tel comportement peut être attribué à la densification continue de la micro-structure de la zone de transition interfaciale (ITZ), en raison des réactions pouzzolaniques à long terme ([Scrivener et al. 1996](#), [Leemann et al. 2006](#)).

En outre, nous avons constaté que les ouvertures des fissures dans les parties les plus sollicitées en traction (mortier de réparation), mesurées à l'aide du fissuromètre ([Figure 5.21](#)) ont été trouvées presque similaires (moyenne de 0.187mm) pour tous les composites examinés.

Ce phénomène peut être attribué aux fibres de polypropylène qui ont été utilisées avec une fraction volumique constante dans tous les mortiers élaborés et qui ont contribué à améliorer les propriétés de flexion de ces mélanges ([Zollo 1984](#), [Hughes et al. 1976](#)).

Tableau 5.5 –Résultats de compatibilité des poutres composites (épaisseur de a couche de réparation de 1cm).

Mode de cure	Mode de rupture	
<p>28 jours à la température ambiante du laboratoire (20±2)°C</p>	 <p>Rupture de flexion, compatible selon Czarneck et al (Czarneck et al. 1999).</p>	
<p>28 jours à la température ambiante du laboratoire (20±2)°C+ 28 jours dans l'eau (20±2)°C</p>	 <p>Rupture compatible</p>	
<p>28 jours à la température ambiante du laboratoire (20±2)°C+ 28 jours dans l'étuve à 40°C</p>	 <p>Rupture compatible</p>	

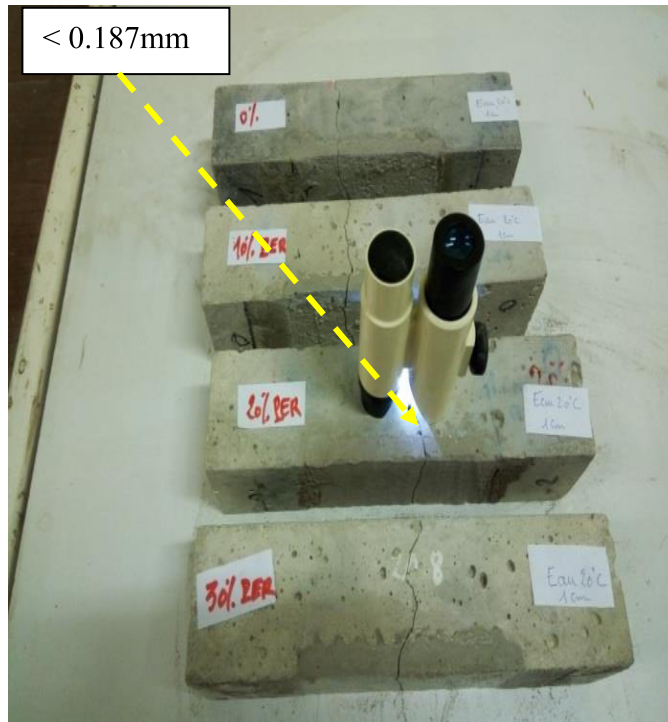


Figure 5.21 – Mesurage des ouvertures de fissures des composites (épaisseurs de la couche de réparation : 1cm)

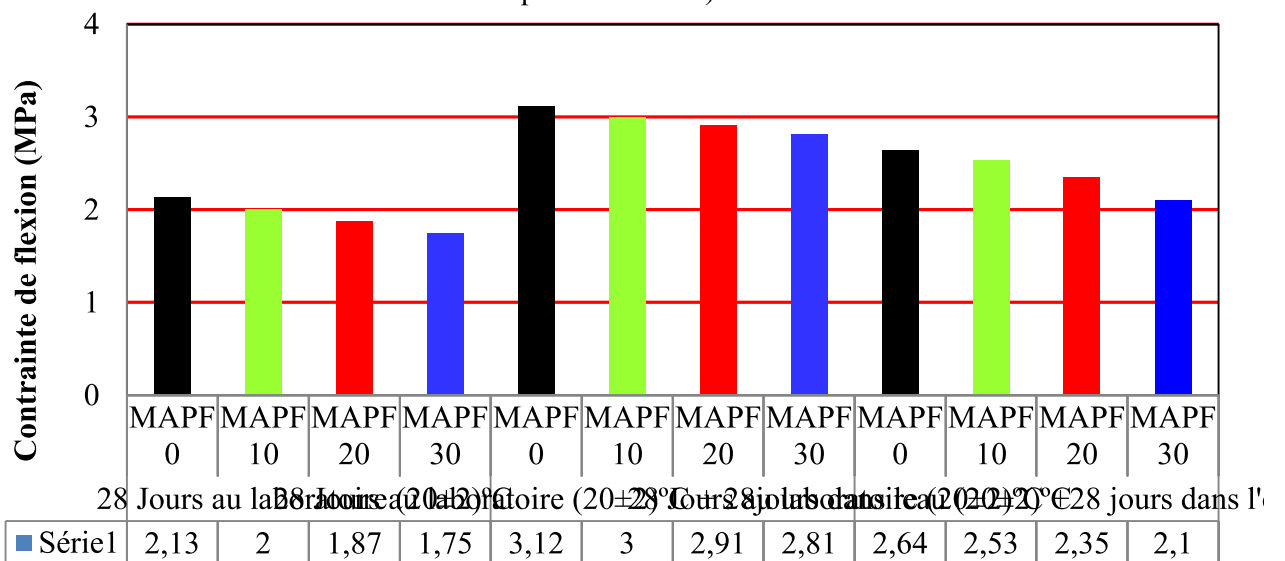


Figure 5.22– Evolution de la contrainte de flexion. des composites (épaisseur 1cm) en fonction du milieu de cure.

L'examen de la Figure 5.22 montre que les composites contenant la poutre de perlite (MAPF1/BS, MAPF2/BS et MAPF3/BS), conservés pendant 28 jours à la température ambiante du laboratoire (20±2)°C, ont présenté des réductions de contrainte de flexion de 6%, 12.2%, et 17.8% respectivement, par rapport à celle du composite de contrôle MAPF0/BS.

D'après nos résultats, nous constatons que le remplacement du ciment par 10% de poudre de perlite a une bonne influence sur le développement des contraintes de flexion dans le milieu de cure cité (28 jours à la température ambiante du laboratoire (20 ± 2)°C).

La même [Figure](#) montre également les résultats de compatibilité effectués par le même essai sur les composites MAPF0/BS, MAPF1/BS et MAPF2/BS, mais cette fois ci, conservés dans des milieux de cure alternés à savoir 28 jours à la température ambiante du laboratoire (20 ± 2)°C+28 jours dans l'eau (20 ± 2)°C.

Dans ces milieux de cure, les composites ont montré des valeurs des contraintes de flexion élevées par rapport à celles des composites conservées dans le premier milieu de cure. Ceci a bien été constaté par [Courard et al. \(2015\)](#).




La réduction de la contrainte de flexion enregistrée dans ce milieu de cure pour les composites contenant la perlite sont de 3.8%, 6.7% et 10%, respectivement, par rapport à celle du composite de contrôle. En effet, un gain de contrainte d'adhérence de 2.2% a été constaté pour le mortier contenant 10% (MAPF10) de poudre de perlite en remplacement du ciment, par rapport à celui conservé dans premier milieu de cure.

EN dernier, l'examen de la même [Figure](#), montre que les composites conservés dans le troisième milieu de cure (28 jours à la température ambiante du laboratoire (20 ± 2)°C+28 jours dans l'étuve à 40°C), ont montré une réduction de la valeur de la contrainte de flexion des composites MAPF1/BS, MAPF2/BS et MAPF3/BS de 4.1%, 11% et 20.4%, par rapport à celle du composite de contrôle MAPF0/BS. En effet, un gain de contrainte de flexion réduit (1.9%) par rapport à celui constaté dans le deuxième milieu de cure a été constaté pour le mortier contenant 10% de perlite en remplacement du ciment.

5.7.2 Poutre réparée par une couche de 2cm d'épaisseur de mortier

Le [Tableau 5.6](#) et les [Figures 5.23](#) et [5.24](#), montrent les résultats de compatibilité effectués par le même essai mais cette fois ci, sur les poutres réparées par une couche de 2cm d'épaisseur de mortier MAPFs et conservées dans les mêmes conditions de cure citées précédemment.

Tableau 5.6 –Résultats de compatibilité des poutres composites (épaisseur de a couche de réparation de 2cm).

Mode de cure	Mode de rupture	
<p>28 jours à la température ambiante du laboratoire (20±2)°C</p>	 <p>Rupture incompatible selon Czarneck et al (Czarneck et al. 1999).</p>	
<p>28 jours à la température ambiante du laboratoire (20±2)°C+ 28 jours dans l'eau (20±2)°C</p>	 <p>Rupture incompatible</p>	
<p>28 jours à la température ambiante du laboratoire (20±2)°C+ 28 jours dans l'étuve à 40°C</p>	 <p>Rupture incompatible</p>	

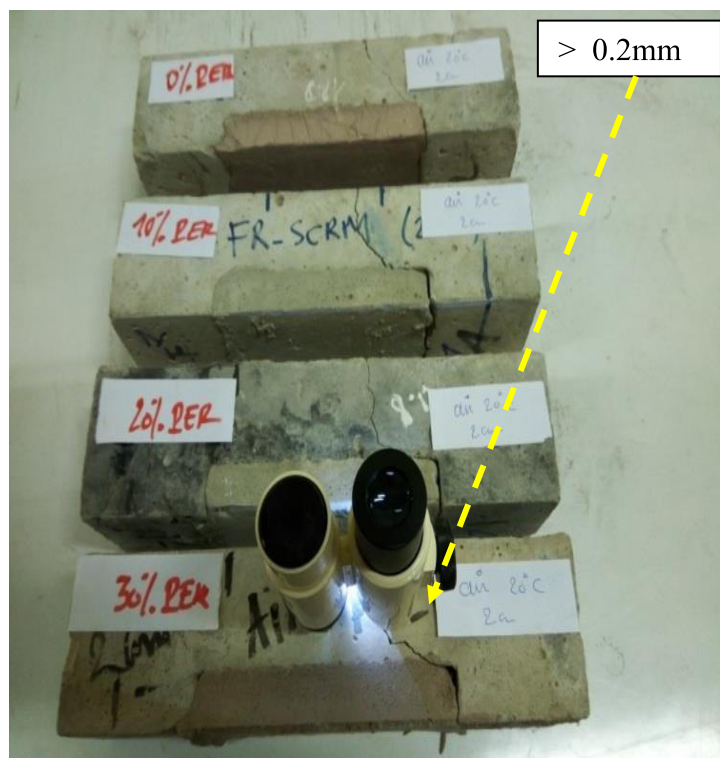


Figure 5.23 – Mesurage des ouvertures de fissures des composites (épaisseur de la couche de réparation: 2cm).

Nous constatons que ces composites ont des valeurs de contraintes de flexion inférieures à celles des composites réparés par 1cm. En outre, tous ces composites testés ont montré un mode de défaillance incompatible qui sont probablement dû à l'effort tranchant.

De larges ouvertures de fissures ($> 0.2\text{mm}$) ont été observées dans les composites étudiés par rapport à celles des composites ayant une épaisseur de la couche de réparation de 1cm. En effet, ces fissures naissent à l'extrémité droite de la réparation au niveau de la fibre tendue vers le point d'application de la charge avec un angle d'environ 30° (Figure 5.24).

L'examen de la Figure 5.24 nous montre que les composites MAPF1/BS, MAPF2/BS et MAPF3/BS conservées dans le premier milieu de cure (28 jours à la température ambiante du laboratoire (20 ± 2) $^\circ\text{C}$) ont montré des réductions de contraintes de flexion de 5%, 12.5% et 19% respectivement, par rapport à celle du composite de contrôle MAP0/BS.

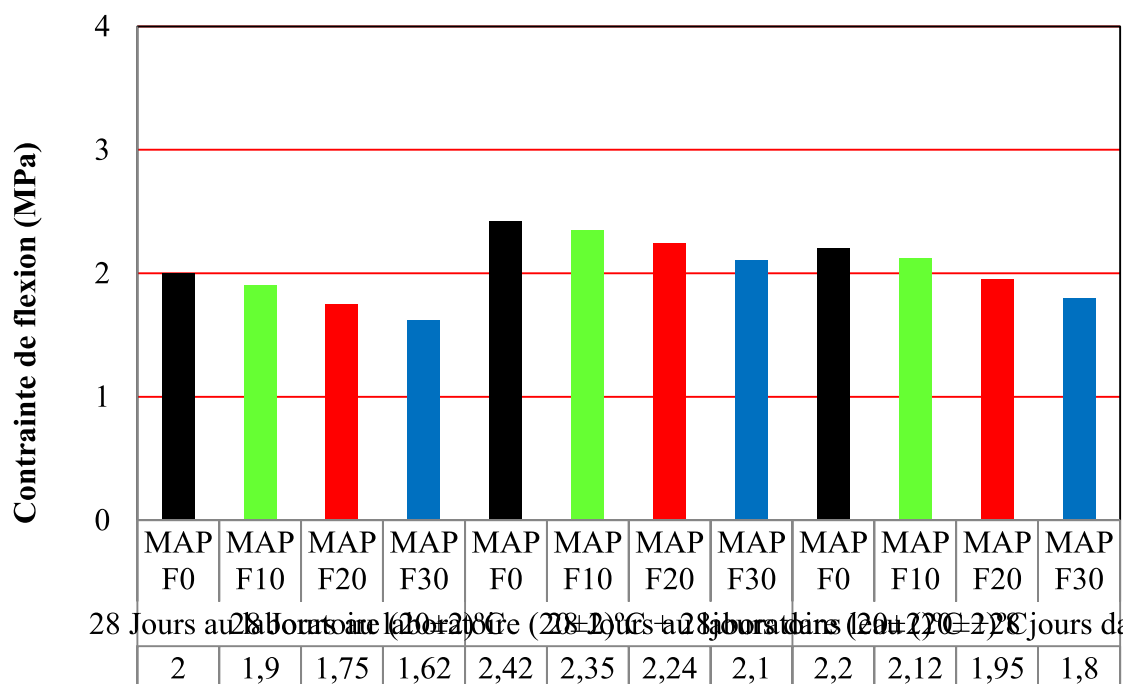


Figure 5.24 – Evolution de la contrainte de flexion des composites (épaisseur 2cm) en fonction du milieu de cure.

D'après nos résultats, nous constatons encore une fois que le remplacement du ciment par 10% de poudre de perlite dans la fabrication des mortiers de réparation a engendré des valeurs de contraintes de flexion meilleures que celles des autres mortiers (20% et 30% de perlite), pour une épaisseur de couche supérieure à 1cm.

Quant aux composites conservés dans le deuxième milieu de cure (28 jours à la température ambiante du laboratoire (20±2)°C+28 jours dans l'eau (20±2)°C), la [Figure 5.24](#) montre des valeurs de contraintes de flexion élevées par rapport au premier mode de cure. Ce qui justifie encore une fois l'efficacité de la cure dans l'eau.

En effet, dans ce milieu de cure, les composites MAPF1/BS, MAPF2/BS et MAPF3/BS ont montré des réductions de la valeur d'adhérence de 2%, 7.4% et 13.22%. Dans ce milieu de cure, le mortier contenant 10% de perlite (MAPF10), présente un gain de résistance de flexion de 3% par rapport à celui du conservé dans le premier milieu de cure.

La même [Figure](#) montre que les composites conservés dans le troisième milieu de cure (28 jours à la température ambiante du laboratoire (20±2)°C+28 jours dans l'étuve à 40°C), ont montré une réduction de la valeur de la contrainte de flexion de 3.6%, 11.3% et 18% par rapport à celle du composite de contrôle MAPF0/BS. En effet, un gain de contrainte de

flexion réduit (1.4%) par rapport à celui constaté pour le composite MAPF10 conservé dans le deuxième milieu de cure.

5.8 Coût de production des mortiers de réparation

Les résultats précédents ont montré que les mélanges de mortiers élaborés à partir de la poudre de perlite, sont des mortiers de réparation structurale de classe R4, conformes aux exigences de la norme EN 1504-3.

Il s'est avéré que les performances de ces mortiers sont similaires à celles du mortier de référence MAPF0 (100 ciment Portland). Par conséquent, il serait intéressant de calculer la réduction des coûts en comparant les couts des constituants de ces quatre mélanges de mortier.

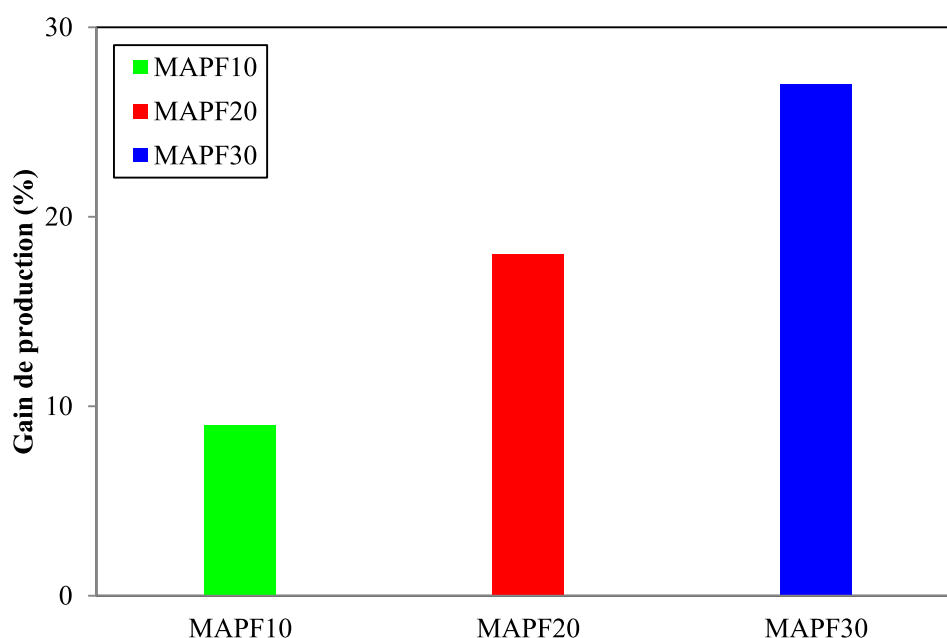


Figure 5.25 – Gain de production lié à l'utilisation de la poudre de perlite en remplacement du ciment.

Le cout de 1 tonne de ciment Portland (CEMI 42,5) en Algérie se situe entre 10500 DA et 12500DA avec une moyenne de 11500DA. En outre, si nous considérons le stockage et les problèmes environnementaux associés à l'utilisation de la poudre de perlite leur cout devrait être considéré comme négligeable.

Plus d'économies pourront être offertes en sachant que ce matériau est disponible localement. Sur la base du cout moyen de ciment et de 1,0 m³ de mortier, les couts des matériaux cimentaires dans les mortiers de référence MAPF0, MAPF10, MAPF2 et MAPF30, seront 9062, 8156, 7250 et 6343 DA, respectivement.

Le remplacement du ciment par la poudre de perlite peut réduire les émissions de CO₂ associées à la production de ciment, ce qui contribue à l'augmentation de l'effet de réchauffement global. Les avantages écologiques liés à l'utilisation de ce matériau en remplacement partiel du ciment peuvent être doublés en sachant que ces derniers sont des matériaux de stockage ou d'emmagasinage, leur accumulation pouvant causer des problèmes dans l'industrie des carrières.

5.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude expérimentale des propriétés à l'état frais et à l'état durci de mortiers autoplaçants renforcés de fibres, destinés à la réparation du béton. Quatre mélanges de mortiers ont été préparés à savoir un mélange de mortier de référence et trois autres mélanges de mortiers contenant 10%, 20% et 30% de poudre de perlite naturelle en remplacement du ciment. Le rapport eau /liant ($E/L=0.35$) et la fraction volumique des fibres de polypropylène (0.03%) ont été maintenus constants pour tous les de mortiers.

L'analyse des résultats obtenus nous a permis de faire les constatations suivantes:

- tous les mortiers de réparation sont formulés pour aboutir à un diamètre moyen d'étalement de 250 ± 10 mm (EFNARC 2005), en ajustant le dosage de superplastifiant. Il a été constaté que l'utilisation de la poudre de perlite dans les mortiers de réparation élaborés, a légèrement augmenté le dosage de superplastifiant pour obtenir la même ouvrabilité. Le temps d'écoulement enregistré pour le mortier de contrôle est 9s. Tandis que, dans le cas du mortier contenant 30% de perlite (MAPF30), il est passé à 10,96 s. En outre, les mélanges de mortiers contenant la perlite ont une fluidité supérieure à celle du mortier de contrôle (MAPF0) pour la même teneur en eau;
- la densité apparente des mélanges de mortiers frais a diminué en fonction de l'augmentation de la poudre de perlite qui a une densité plus faible que celle du ciment. La valeur de la densité apparente pour le mélange de mortier de contrôle est de 2297 kg / m^3 . Cependant, elle est pour le mortier contenant 30% de poudre de perlite de 2178 kg / m^3 . En outre, la plus faible densité des mortiers durcis est observée pour le mortier contenant 30% de poudre de perlite (2053 kg / m^3). Le mélange de mortier MAPF30 a affiché une densité apparente sèche réduite de 7% par rapport à celle du mortier de contrôle (MAPF0);

- l'utilisation de 10%, 20% et 30% de poudre de perlite en remplacement du ciment a engendré des réductions du temps de début et de fin de prise des mélanges de mortiers. Ces réductions concernent surtout le mélange de mortier contenant 30% de poudre de perlite. Cependant, ces mortiers le temps de prise de ces mortiers reste toujours conformes aux exigences de la norme ASTM C 595 et ASTM C 1157 (liants pouzzolaniques) qui limitent le temps de début de prise à 45 min au minimum et le temps de fin de prise à 420 min au maximum.
- le coefficient de conductivité thermique des mélanges de mortiers durcis a diminué en fonction de l'augmentation de la poudre de perlite en raison de la porosité élevée contenue dans ce matériau. Il est à noter que la réduction du coefficient de conductivité thermique des mélanges de mortiers étudiés reflète que ces mortiers sont très isolants. En outre, il a été constaté comme d'ailleurs dans la littérature que ce coefficient est lié directement à la densité des mortiers durcis.
- le remplacement partiel du ciment par la poudre de perlite a réduit à la fois la résistance à la flexion et la résistance à la compression des mélanges de mortiers, et cette réduction est plus élevée à mesure que la teneur de perlite augmente. Il est à noter qu'à l'âge de 28 jours, tous les mortiers de réparation étudiés ont affiché une résistance à la compression supérieure à celle de la limite inférieure exigée pour les mortiers de réparation structurale de classe R4 (EN 1504-3). En outre, à l'âge de 91 jours, la valeur de résistance à la compression du mortier MAPF10 est comparable à celle du mortier de contrôle MAPF0;
- bien que les valeurs du module de Young ont diminué avec l'augmentation du remplacement du ciment par la poudre de perlite. Cependant, tous les mélanges de mortiers de réparation étudiés ont affiché des valeurs du module de Young à l'âge de 28 jours, supérieures à la valeur inférieure exigée par la norme EN 1504-3 (20GPa – classe R4). Il est également intéressant de noter qu'à l'âge de 91 jours, la valeur du module de Young pour le mortier MAPF10 (47.10GPa), est comparable à celle du mortier de contrôle (48.60 GPa);
- le remplacement du ciment par la poudre de perlite a engendré des réductions des valeurs de retrait par rapport à celle du mortier de contrôle (100% de ciment) et cette réduction est significative pour le taux de remplacement du ciment par 30% de poudre de perlite en raison de la structure poreuse de ce matériau qui emmagasine l'eau et il la libère au cours du durcissement.

- les valeurs d'absorption d'eau ($0,23 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$ à $0,41 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$) pour tous les mortiers de réparation, à 24 heures sont conformes aux exigences de la classe R4 (moins de $0,5 \text{ kg} / \text{m}^2 / \text{h}^{0,5}$). De plus, on peut noter que la valeur d'absorption d'eau pour le mortier MAPF10 ($2,85 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$), est comparable à celle du mortier de contrôle MAPF0 ($2,31 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$). Alors que l'absorption d'eau du mortier MAPF30 ($0,41 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$) est presque deux fois plus élevée que celle du mortier MAPF10.
- dans les essais de cisaillement oblique, nous avons remarqué un accroissement de la résistance au cisaillement oblique avec l'augmentation de la résistance à la compression des mortiers de réparation. De plus, trois modes de ruptures distincts ont été observés dans cet essai, pour tous les composites étudiés. Les modes de défaillance sont passés d'un mode de rupture à l'interface (1 jour) à un mode de rupture monolithique (7 jours) et enfin à un mode de rupture dans le substrat du béton (28 jours). Alors que le composite MAPF30 / BS a présenté le même mode de défaillance (défaillance monolithique). Il est important de noter que tous les mortiers de réparation étudiés ont affiché des valeurs de résistance au cisaillement plus élevées que celle de la limite inférieure spécifiée par l'ACI à 1, 7 et 28 jours;
- les résultats de compatibilité ont montré que les mortiers de réparation élaborés MAPF_s, peuvent être appliqués avec succès sur des couches ne dépassant pas 1cm d'épaisseur, compte tenu des conditions probables sur le terrain. En outre, la conservation de ces mortiers dans un milieu de cure alterné (28 jours à la température ambiante du laboratoire à $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ + 28 jours dans l'eau à $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$) a montré de bons résultats de compatibilité par rapport aux autres milieux de cure;
- l'utilisation de la poudre de perlite dans les mortiers de réparation a engendré des réductions de coût par rapport à celle du mortier de contrôle de 9062 (MAPF0), 8156 (MAPF1), 7250 (MAPF20) et enfin 6343 DA (MAPF30). Cela correspond à une économie de coûts d'environ 9%, 18% et 27% rapport au mélange de contrôle MAPF0. De plus, ce matériau offre certains avantages écologiques tels que la réduction des émissions de CO₂ associées à la production de ciment et a résolu en grande partie les problèmes de stockage des déchets dans les industries de carrières.

CONCLUSIONS GENERALES ET RECOMMANDATIONS

Conclusions générales

Ce travail de thèse s'est déroulé sur une période de quatre ans, et s'est intégré dans l'activité générale de recherche de l'équipe du laboratoire de Géomatériaux de l'université de Hassiba Ben Bouali de Chlef.

Dans le chapitre premier, nous avons fait un tour d'horizon sur les différentes pathologies pouvant réduire la durée de vie utile des structures en béton armé. Nous avons montré comment poser un diagnostic recommandable en fonction de l'ampleur de la pathologie constatée sur le terrain et la cinétique de dégradation du béton, et ce pour opter pour une technique de réparation adéquate garantissant la pérennité de la structure réparée. Dans ce chapitre, seul les techniques de remise en état du béton par le mortier et les classes d'exigences de ces derniers, ont été décrites selon la norme EN 1504.

Le deuxième chapitre est un état de l'art dédié aux différentes méthodes et approches de formulation des mortiers autoplaçants et aux différents essais de caractérisation de ces mortiers à l'état frais. La bibliographie nous a montré qu'il n'existe pas un nombre important de méthodes par rapport au béton, permettant de définir la composition d'un mortier autoplaçant. Nous avons également constaté que les essais utilisés pour la caractérisation des mortiers autoplaçants à l'état frais sont très limités (essai d'étalement et essai d'écoulement).

Nous avons vu dans le troisième chapitre que la quasi-totalité des structures réparées ont été dégradées au bout d'un certain temps à cause du choix inadéquat des matériaux de réparation. A cet effet, les spécialistes conseillent de réparer avec un matériau compatible avec le matériau d'origine, afin d'aboutir à une réparation durable ayant un comportement monolithique avec le reste de l'élément existant. En effet, la compatibilité est définie comme étant un équilibre entre les propriétés physiques, chimiques et électrochimiques et déformationnelles du composite (matériau de réparation/substrat).

Sous la lumière des résultats des essais réalisés sur un ensemble de 4 mélanges de mortiers autoplaçants renforcés de fibres il a été constaté que l'utilisation de la poudre de perlite dans les mortiers de réparation élaborés, a légèrement augmenté le dosage de superplastifiant par rapport au mélange de mortier de contrôle, afin de satisfaire les propriétés à l'état frais à savoir un temps d'écoulement compris entre 7 à 11s et un étalement compris entre 24 à 26 cm. Cependant, la perlite a engendré des réductions du le temps de prise (début et fin de prise) de ces mortiers et ces réductions sont significatives pour le mortier contenant 30% de perlite naturelle. Les mélanges de mortiers contenant la poudre de perlite ont montré des valeurs de

densité inférieures par rapport à celles du mélange de contrôle. La réparation du béton par des mortiers pareils, a tendance à réduire la charge permanente de la structure réparée. En termes d'isolation thermique, les mortiers contenant la poudre de perlite ont affiché des coefficients de conductivité thermiques réduits par rapport à celui du mélange de mortier de contrôle. Concernant les réponses mécaniques et l'élasticité, il a été constaté que le remplacement partiel du ciment par la poudre de perlite a réduit à la fois la résistance à la flexion, la résistance à la compression et le module de Young des mélanges de mortiers, et cette réduction est plus élevée à mesure que la teneur de perlite augmente. Cependant, à l'âge de 28 jours, tous les mortiers de réparation étudiés (MAPF10, MAPF20 et MAPF30) ont affiché des valeurs de résistance à la compression et du module de Young supérieures à celles de la limite inférieure exigée pour les mortiers de réparation structurale de classe R4. A long terme (91 jours), le mortier contenant 10% de poudre de perlite (MAPF10) a montré des valeurs de résistance en compression et du module d'élasticité comparables à celles du mortier de contrôle. Il a été également constaté que plus le ciment est remplacé par la poudre de perlite, moins et le retrait. Cependant, la durabilité (l'absorption en eau) de ces mélanges de mortiers est compromise au-delà d'un remplacement du ciment par 30% de poudre de perlite. Il est à noter que tous les mortiers étudiés ont des valeurs d'absorption inférieures à celles exigées par la norme pour les mortiers de classe R4. Également, le remplacement du ciment jusqu'à 30% de perlite a engendré un composite monolithique et aucun décollement n'a été observé.

Les résultats de compatibilité ont montré que les mortiers de réparation élaborés MAPF_s, peuvent être appliqués avec succès sur des couches ne dépassant pas 1cm d'épaisseur, compte tenu des conditions probables sur le terrain.

En dernier, nous avons clôturé notre travail de thèse par l'étude du coût de production des mortiers de réparation élaborés. En effet, il a été constaté que le mortier contenant 30% de poudre de perlite peut engendrer une réduction de coût de 27% par rapport à celui de contrôle.

Recommandations

Afin de confirmer et d'approfondir les résultats de ce travail, il serait intéressant de poursuivre cette étude en se focalisant sur deux thématiques:

Les propriétés à l'état frais des MAP élaborés: Dans le travail que nous avons présenté, nous nous sommes intéressés à la formulation et à la caractérisation des mortiers autoplacants avec un seul type de superplastifiant (Medaflo 30). Il serait préférable de reformuler les

mélanges de ces mortiers avec d'autres superplastifiants qui existent en Algérie et de les caractériser dans un climat chaud.

La caractérisation de l'adhérence des mortiers sur un support à réparer (substrat de béton):

En effet, plusieurs paramètres peuvent être étudiés. La rugosité de surface du substrat peut être modifiée de différentes manières pour étudier plus finement son influence sur les résultats obtenus.

L'effet de l'hygrométrie du support pourra aussi être approfondi en appliquant les mortiers sur des supports humides et/ ou carbonatés.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

- ACI Committee 237. (2005). "Provisional intérim Guidelines on self-consolidating concrete", American concrete institute, Kansas City.
- ACI Committee 546. (2004). American concrete institute, Farmington hills mich 53.
- Adekunle, S., S. Ahmad, M. Maslehuddin and H. J. Al-Gahtani (2015). "Properties of SCC prepared using natural pozzolana and industrial wastes as mineral fillers". *Cement and concrete composites* **62**: 125-133.
- AFGC. (2000). "Béton autoplaçant, recommandations provisoires".
- AFGC.(2003). "Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion".
- Ahmad, S. and S. P. Shah (1982). "Stress-strain curves of concrete confined by spiral reinforcement". *ACI Journal* **79** :484-490.
- Ahmad, S., S. K. Adekunle, M. Maslehuddin and A. K. Azad (2014). "Properties of self-consolidating concrete made utilizing alternative mineral fillers". *Construction and building materials* **68**: 268-276.
- Ahmed, I., E. Karim and K. El Hadj (2010). "Etude des deformations de retrait d'un mortier contenant différentes additions minérales". *Symposium international sur la construction en zone sismique, université Hassiba Benbouali de Chlef Algérie*.
- Aitcin, P. C., S. Jiang, B. G. Kim, P. C. Nkinamubanzi and N. Petrov (2001). "L'interaction ciment/superplastifiant. Cas des polysulfonates". *Laboratoire des ponts et chaussées*: 87-98.
- Akçaözoğlu, S., K. Akçaözoğlu and C. D. Atiş (2013). "Thermal conductivity, compressive strength and ultrasonic wave velocity of cementitious composite containing waste PET lightweight aggregate (WPLA)". *Composites Part B: Engineering* **45**(1): 721-726.
- Aliabdo, A. A. E. and A. E. M. Abd Elmoaty (2012). "Experimental investigation on the properties of polymer modified SCC." *Construction and building materials* **34**: 584-592.
- Anagnostopoulos, C. A. (2007). "Cement-clay grouts modified with acrylic resin or methyl methacrylate ester: Physical and mechanical properties." *Construction and building materials* **21**(2): 252-257.
- Anagnostopoulos, C. A. and A. C. Anagnostopoulos (2002). "Polymer-cement mortars for repairing ancient masonries mechanical properties." *Construction and Building Materials* **16**(7): 379-384.
- Association, B. C. C. "Technical prescriptions for concrete repair mortars." *Belgian guidelines PTV 563*.
- ASTM C39. (2003). "Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens". *American society for testing and materials*.

- ASTM C78. (2009). "Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading) ".
- ASTM C882/C882M-13a. (2013). "Standard test method for bond strength of epoxy resin systems used with concrete by slant shear". ASTM international, west Conshohocken, PA.
- ASTM, C. (1996). "39, Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens." Annual book of ASTM standards 4.
- ASTM, C. (2003). "143:"Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete,"." American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards 4.
- ASTM, C. (2004). "496, Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens." United States: ASTM International.
- ASTM, C. (2005). "595-03. Standard specification for blended hydraulic cements." Annual book of ASTM standards 4.
- ASTM, C. (2008). "1157." Standard performance specification for hydraulic cement.
- Audisio, S. and G. Béranger (2010). "Anticorrosion et durabilité dans le bâtiment, le génie civil et les ouvrages industriels". Presses polytechniques et universitaires Romandes chapitre 14:256 .
- Austin, S., P. Robins and Y. Pan (1999). "Shear bond testing of concrete repairs." Cement and concrete research **29** (7): 1067-1076.
- Banfill, P. F. G. (1995). Applications of rheology in mortar production. Proceedings of the British Masonry Society.
- Banthia, N., A. Moncef, K. Chokri and J. Sheng (1995). "Uniaxial tensile response of microfibre reinforced cement composites." Materials and Structures **28**(9): 507-517.
- Baron, J., et J.P. Ollivier (1992). "La durabilité des bétons". Collection de l'Association technique de l'industrie des liants hydrauliques, Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussées, Paris.
- Bastien Masse, M. (2010). "Étude du comportement déformationnel des bétons de réparation". École polytechnique de Montréal.
- Batimag (2005). "Revue spécial huitième salon BATIMATEC".
- Batis, G., P. Pantazopoulou, S. Tsivilis and E. Badogiannis (2005). "The effect of metakaolin on the corrosion behavior of cement mortars." Cement and Concrete Composites **27**(1): 125-130.
- Behfarnia, K. and O. Farshadfar (2013). "The effects of pozzolanic binders and polypropylene fibers on durability of SCC to magnesium sulfate attack". Construction and Building Materials **38**: 64-71.

- Belaidi, A., L. Azzouz, E. Kadri and S. Kenai (2012). "Effect of natural pozzolana and marble powder on the properties of self-compacting concrete." *Construction and building materials* **31**: 251-257.
- Benabed, B., H. Soualhi, A. S. E. Belaidi, L. Azzouz and S. Kenai (2016). "Effect of limestone powder as a partial replacement of crushed quarry sand on properties of self-compacting repair mortars." *Journal of building materials and structures* **3**(1): 15-30.
- Benaïcha, M. (2013). *Formulation des différents bétons (BAP, BHP et BFUP) à haute teneur en additions minérales: optimisation pour améliorer le coulage, la résistance au jeune âge et la durabilité des bétons*, Aix-Marseille.
- Benjeddou, O., M. B. Ouezdou and A. Bedday (2007). "Damaged RC beams repaired by bonding of CFRP laminates." *Construction and building materials* **21**(6): 1301-1310.
- Bentz, D. (2000). "Influence of Silica Fume on Diffusivity in Cement-Based Materials. II. Multi-Scale Modeling of Concrete diffusivity." In *Cement and concrete research* **30**:1121-1129
- Blache, B. and J.-D. Merlet (1993). "Comment réparer le béton armé." *Les cahiers techniques du bâtiment* **17**: 25-34.
- Bogas, J. A., A. Gomes and M. Pereira (2012). "Self-compacting lightweight concrete produced with expanded clay aggregate". *Construction and Building Materials* **35**: 1013-1022.
- Bogas, J. A., M. G. Gomes and S. Real (2014). "Bonding of steel reinforcement in structural expanded clay lightweight aggregate concrete: The influence of failure mechanism and concrete composition." *Construction and Building Materials* **65**: 350-359.
- Bombled, J.P et O.Kalvenes (1967). "Comportement rhéologique des pâtes, mortiers et bétons". *Revue des Matériaux de Construction*, n° 617.
- Bonavetti, V., H. Donza, G. Menendez, O. Cabrera and E. Irassar (2003). "Limestone filler cement in low w/c concrete: a rational use of energy." *Cement and concrete research* **33**(6): 865-871.
- Bonavetti, V., H. Donza, V. Rahhal and E. Irassar (2000). "Influence of initial curing on the properties of concrete containing limestone blended cement." *Cement and concrete research* **30**(5): 703-708.
- Bonneau, O. (1997). "Étude des effets physico-chimiques des superplastifiants en vue d'optimiser le comportement rhéologique des bétons à ultra-hautes performances". Thèse de doctorat en contutelle, Ecole Normale Supérieure de Cachan, France et Université de Sherbrooke, Canada.
- Bornand, G.(1985). "Le diagnostic en habitat existant", *Cahiers techniques du bâtiment*, éditions du moniteur: 53-61.
- Bosiljkov, V. B. (2003). "SCC mixes with poorly graded aggregate and high volume of limestone filler". *Cement and Concrete Research* **33**(9): 1279-1286.

- Bouraoui, M.(1998). "Développement de béton de réparation adhère de face aval des barrages et analyse numérique du comportement thermique de réparation". Thèse de doctorat de l'université de Cherbrooke
- Brandt, A. M. (2008). "Fibre reinforced cement-based (FRC) composites after over 40 years of development in building and civil engineering." *Composite structures* **86**(1): 3-9.
- Bricard, C. (2014). "Journée Technique–gestion d’ouvrages d’art maritimes et portuaires réparation du béton".
- Brill, L., Komlos et K., Majzlan, B(1980). "Early shrinkage of cement paste and concrete". *Materials and structures* **13**: 73.
- Brooks, J., M. M. Johari and M. Mazloom (2000). "Effect of admixtures on the setting times of high-strength concrete." *Cement and Concrete Composites* **22**(4): 293-301.
- Brunetaud X. et L. Jausserand (2005). "Travaux pratiques - Ciment et bétons". Ecole Polytechnique de l'Université d'Orléans.
- Burak, I. (2015). "Characterization of lightweight ferrocement panels containing expanded perlite-based mortar." *Construction and Building Materials* **81**: 15-23.
- Bury, M. A. and B. J. Christensen (2002). "The role of innovative chemical admixtures in producing self-consolidating concrete". First North American conference on the design and use of self-consolidating concrete. Chicago: 141-146.
- Caré, S., V. Baroghel-Bouny, F. DE Larrard, Y. Charonnat and R. Linder (2000). "Effet des additions minérales sur les propriétés d'usage des bétons-Plan d'expérience et analyse statistique". Etudes et recherches des laboratoires des ponts et chaussées serie ouvrages d’art (0A33).
- CETE. (2014). "Evaluation de la durée de vie résiduelle d’un ouvrage en service par la mesure des indicateurs de durabilité et des témoins de durée de vie".
- Chai, H.W. (1998). "Design and testing of self-compacting concrete". PhD thesis, University of London.
- Chandra, S. (1996). *Waste materials used in concrete manufacturing*, Elsevier.
- Chausson, H. (1997). *La durabilité des rechargements minces adhérents en béton renforcé de fibres métalliques*.
- Chen, L. (1995). "Comparative toughness testing of fiber reinforced concrete." *Special Publication* **155**: 41-76.
- Chi, J., R. Huang, C. Yang and J. Chang (2003). "Effect of aggregate properties on the strength and stiffness of lightweight concrete." *Cement and Concrete Composites* **25**(2): 197-205.
- Chindaprasirt, P., S. Homwuttiwong and V. Sirivivatnanon (2004). "Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar." *Cement and concrete research* **34**(7): 1087-1092.

- Climaco, J. and P. Regan (1989). "Evaluation of bond strength between old and new concrete". International conference on structural faults and repair.
- Cochet, G. and F. Sorrentino (1993). "Limestone filled cements: Properties and uses". Mineral admixtures in cement and concrete **4**: 266-295.
- Çolak, A. (2003). "Characteristics of pastes from a Portland cement containing different amounts of natural pozzolan." Cement and concrete research **33**(4): 585-593.
- Collombet, R. (1998). "Techniques et produits pour l'amélioration de l'habitat". Editions du moniteur:14-30
- Cominoli, L., C. Failla and G. Plizzari (2007). Steel and synthetic fibres for enhancing concrete toughness and shrinkage behaviour. Proceedings of international conference: sustainable construction materials and technologies.
- ConRepNet. (2004). Network newsletter N03.<http://Projects.bre.co.uk/conrepnet/pages/diseem.htm>.
- Cotterell, B. and Y.-W (1995). "Fracture mechanics of cementitious materials". CRC Press.
- Courard, L. (1999). Contribution à l'analyse des paramètres influençant la création de l'interface entre un béton et un système de réparation, Université de Liege, faculté des sciences appliquées.
- Courard, L. (2015). "Maladies des bétons: entre fatalité et prise en charge."
- Courard, L., A. Darimont, R. Degeimbre, X. Willem, C. Geers and J. Wiertz (2002). "Repairing Concrete with Self Compacting Concrete: Testing Methodology Assessment". Proceedings of the First North American, Conference on the design and use of self-consolidating concrete: 267, 274.
- Courard, L., R. Degeimbre, A. Darimont, F. Michel, X. Willem and S. Flamant (2005). "Some effects of limestone fillers as a partial substitute for cement in mortar composition". Third International Conference on construction materials: performance, innovations and structural implications, The university of british Columbia.
- Cyr, M., C. Legrand and M. Mouret (2000). "Study of the shear thickening effect of superplasticizers on the rheological behaviour of cement pastes containing or not mineral additives". Cement and concrete research **30**(9): 1477-1483.
- Czarnecki, L., A. Garbacz, P. Łukowski and J. Clifton (1999). "Polymer composites for repairing of portland cement concrete: compatibility project." United States Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg.
- Darweesh, H. (2014). "Utilization of Perlite Rock in Blended Cement-Part I: Physicomechanical Properties." J. Chemical and Materials Sciences,(DRCMS), ISSN: 2354-4163.
- Dawood, E. T. (2015). "Experimental study of lightweight concrete used for the production of canoe." Al-Rafadain Engineering Journal **23**(2).

- Dawood, E. T. and M. Ramli (2011). "High strength characteristics of cement mortar reinforced with hybrid fibres." *Construction and building materials* **25**(5): 2240-2247.
- De Larrard, F. and C. F. Ferraris (1998). "Rheologie du beton frais remanie. III-L'essai au cone d'Abrams modifie." *Bulletin-laboratoires des ponts et chaussées*: 53-60.
- De Larrard, F., F. Bosc, C. Catherine and F. Deflorenne (1996). "La nouvelle méthode des coulis de l'AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances". *Bulletins des laboratoires des ponts et chaussées*: 61-69.
- De Sensale, G. R. (2006). "Strength development of concrete with rice-husk ash." *Cement and concrete composites* **28**(2): 158-160.
- Diederich, P. (2010). "Contribution à l'étude de l'influence des propriétés des fillers calcaires sur le comportement autoplaçant du béton". Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.
- Divet, L., S. Arnaud and X. Dérobert (2005). "Présentation des techniques de diagnostic de l'état d'un béton soumis à un incendie." *Techniques et méthodes des Laboratoires des ponts et chaussées. Méthode*.
- Domone, P.(2000). "Mix Design, in Self-Compacting Concrete: State of the- Art". Report of RILEM Technical Committee 174-SCC, RILEM Publications: 49-65.
- Domone, P. (2006). "Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies." *Cement and Concrete Composites* **28**(2): 197-208.
- Domone, P. and J. Jin (1999). "Properties of mortar for self-compacting concrete". *Proceedings of the 1st international RILEM symposium on self-compacting concrete*: 109–120.
- Dreux, J., et J. Festa. (2002). "Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants". 8^{ème} édition, Eyrolles, Paris, France.
- Druta, C. (2003). Tensile strength and bonding characteristics of self-compacting concrete, Master thesis in engineering science submitted to the graduate faculty of the Louisiana state university and agricultural and mechanical college.
- Ecole thématique (2008). "Matériaux cimentaires". Grande Motte.
- EFNARC (2005). "The European guidelines for self-compacting concrete: specification, production and use". European federation for specialist construction chemicals and concrete systems.
- El Barrak, M. (2003). "Contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des Bétons Auto-Plaçants (BAP) à l'état frais." *Revue française de génie civil* **7**(1): 115-115.
- El Hilali, A. (2009). "Etude expérimentale de la rhéologie et du comportement des bétons autoplaçants (BAP): influence des fines calcaires et des fibres végétales". Thèse de Doctorat Université de Cergy Pontoise.
- Ellebrock, H., S. Sprung and K. Kuhlmann (1990). "Particle size Distribution and Properties of Cement. Part III: Influence of the Grinding Process". *Zement-kalk-gips* **43**: 13–19.

- Emberson, N. and G. Mays (1990). "Significance of property mismatch in the patch repair of structural concrete Part 1: Properties of repair systems." Magazine of concrete research **42**(152): 147-160.
- Emmons, P. and A. Vaysburd (1996). "System concept in design and construction of durable concrete repairs." Construction and building materials **10**(1): 69-75.
- Emmons, P. H. (1993). "Concrete repair and maintenance illustrated". Kingston, MA 02364-0800 (USA): R. S. Means company, inc.
- Emmons, P. H. and A. M. Vaysburd (1995). Performance Criteria for Concrete Repair Materials. Phase 1, DTIC document. Technical report REMR-CS-47, U.S. Army corps of engineers:113.
- EN 1015-18. (2003). "Methods of test for mortar for masonry. Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar".
- EN 1015-6.(1999). "Methods of test for mortar for masonry-Determination of bulk density of fresh mortar".
- EN 12190. (1999). "Products and systems for the protection and repair of concrete structures- Test methods- Determination of compressive strength of repair mortar".
- EN 12504-4.(2005). "Testing concrete-part 4: determination of ultrasonic pulse velocity".
- EN 12617-4.(2002). "Products and systems for the protection and repair of concrete structures". Test methods. Determination of shrinkage and expansion
- EN 1504. (2008). "Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton".
- EN 1504-10 (2004). "Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton - Définitions,prescriptions, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 10: Application sur site des produits et systèmes et contrôle de la qualité des travaux".
- EN 1504-3 (2006). "Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, exigences, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 3: réparation structurale et réparation non structurale".
- EN 1504-9 (2008). "Produits et systèmes pour la protection et la réparation de structures en béton - Définitions, exigences et maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 9 : principes généraux d'utilisation des produits et systèmes".
- EN 197-1.(2000). "Cement, Composition, specifications and conformity criteria for common cements".
- EN 206-1 (2004). "Béton - Partie 1: spécification, performances, production et conformité".
- EN 934-2. (2009). "Admixtures for concrete, mortar and grout-Part 2: Concrete admixtures- Definitions, requirements, conformity, marking and labeling".

- Ennis, D. (2011). Perlite mining and reclamation in the no aqua peaks, Taos County, New Mexico. New Mexico Geological Society Guidebook. 62nd Field Conference, Geology of the Tusas Mountains–Ojo Caliente.
- Erdem, T., C. Meral, M. Tokyay and T. Erdoğan (2007). "Use of perlite as a pozzolanic addition in producing blended cements." *Cement and Concrete Composites* **29**(1): 13-21.
- Erdoğan, S. T. and A. Ü. Sağlık (2013). "Early-age activation of cement pastes and mortars containing ground perlite as a pozzolan." *Cement and Concrete Composites* **38**: 29-39.
- Eser, H. (2014), "High performance structural lightweight concrete", M.Sc. thesis, The graduate school of natural and applied sciences of middle east technical university. Ankara.
- Ezziane, K., A. Bougara, A. Kadri, H. Khelafi and E. Kadri (2007). "Compressive strength of mortar containing natural pozzolan under various curing temperature". *Cement and concrete composites* **29**(8): 587-593.
- Fakhretaha, S., R. B. Ardalan, N. Libre, I. Mehdipour and M. Shekarchi (2013). "The Effect of Inert and Pozzolanic Powders on Properties of Self-Consolidating Mortar." *Proceedings of the Fifth North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, Chicago, Illinois, USA.
- Farhat, H. (1999). Durabilité des réparations en béton de fibres: effets du retrait et de la fatigue.
- Fay, R., M. O. Bessette and R. Morin (2004). Réfection du passage inférieur Jarry/Querbes, Compte rendus du 10^e Colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art, Ministère des Transports du Québec:9.
- Felekoglu, B. (2007). "Utilisation of high volumes of limestone quarry wastes in concrete industry (self-compacting concrete case)." *Resources, conservation and recycling* **51**(4): 770-791.
- Felekoğlu, B., K. Tosun, B. Baradan, A. Altun and B. Uyulgan (2006). "The effect of fly ash and limestone fillers on the viscosity and compressive strength of self-compacting repair mortars." *Cement and concrete research* **36**(9): 1719-1726.
- Felekoğlu, B., S. Türkel and Y. Altuntaş (2007). "Effects of steel fiber reinforcement on surface wear resistance of self-compacting repair mortars". *Cement and concrete composites* **29**(5): 391-396.
- Ferraris, C. F. (1996). "Measurement of rheological properties of high performance concrete: state of the art". report, US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology, Office of Applied Economics, Building and Fire Research Laboratory.
- Ferraris, C. F., K. H. Obla and R. Hill (2001). "The influence of mineral admixtures on the rheology of cement paste and concrete". *Cement and concrete research* **31**(2): 245-255.
- Ferrier, E. (1999). "Comportement de l'interface composite-béton sous des sollicitations de fluage thermo-stimulé et en fatigue oligocyclique: application au calcul prévisionnel de la durabilité de poutres BA renforcées". Thèse de doctorat, université Lyon1

- Fiat, D., M. Lazar, V. Baciuc and G. Hubca (2010). "Aspects concerning the perlitic recovery in addition with polymeric additives for construction materials." *Materiale Plastice* **47**(1): 64-68.
- Fowler, D. W. (1999). "Polymers in concrete: A vision for the 21st century." *Cement and concrete composites* **21**(5): 449-452.
- Fujiwara, H., S. Nagataki, N. Otsuki and H. Endo (1996). "Study on reducing unit powder content of high-fluidity concrete by controlling powder particle size distribution." *Concrete library of JSCE* **28**: 117-128.
- Gagne, R. (2002). "Cours de Durabilite et reparations des Btons (GCI-714), Chapitre 2: La Durabilite des betons." Universite de Sherbrooke, Canada.
- Gao, J., W. Sun and K. Morino (1997). "Mechanical properties of steel fiber-reinforced, high-strength, lightweight concrete." *Cement and Concrete Composites* **19**(4): 307-313.
- Garbacz, A., L. Courard and K. Kostana (2006). "Characterization of concrete surface roughness and its relation to adhesion in repair systems." *Materials characterization* **56**(4): 281-289.
- Gencel, O., W. Brostow, T. Datashvili and M. Thedford (2011). "Workability and mechanical performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete with fly ash." *Composite interfaces* **18**(2): 169-184.
- Gérôme, S. (2003). "Evaluation des paramètres d'obtention de la qualité des bétons projetés utilisés dans des soutènements provisoires, des revêtements définitifs et des renforcements d'ouvrages". Thèse, institut national des sciences appliquées de Lyon.
- Ghafari, E., A. Baig, K. Nicoletta, D. Feys, R. D. Ferron and K. H. Khayat (2014). "Admixture Compatibility of Alternative Supplementary Cementitious Materials for Pavement and Structural Concrete." Center for Transportation Infrastructure and Safety/NUTC program: Published, in: The national academies of sciences engineering and medicine.
- Ghezal, A., K. H. Khayat and D. Beaupre (2002). "Development of self-consolidating concrete with low binder content and mineral additives". First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, Chicago: North Western University.
- Ghrici, M., S. Kenai and M. Said-Mansour (2007). "Mechanical properties and durability of mortar and concrete containing natural pozzolana and limestone blended cements." *Cement and Concrete Composites* **29**(7): 542-549.
- Ghrici, M., S. Kenai, M. Said-Mansour and E.-H. Kadri (2006). "Some engineering properties of concrete containing natural pozzolana and silica fume". *Journal of Asian Architecture and building engineering* **5**(2): 349-354.
- Ginger –cebt. "Les différents moyens de suivi de fissures et de mesure d'ouverture de fissure". site www.ginger-cebt.com

- Goto, T. (2006). "Influence des paramètres moléculaires du latex sur l'hydratation, la rhéologie et les propriétés mécaniques des composites ciment/latex". Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.
- Granitex.(2013). "Mortiers coulés suivant NBN EN 1504–10 Application sur sites et contrôle de la qualité des travaux". PPTX.
- Granju, J. (1996). "Thin bonded overlays: about the role of fiber reinforcement on the limitation of their debonding." *Advanced cement based materials* 4(1): 21-27.
- Groth, P. and D. Nemegeer (1999). "The use of steel fibres in self-compacting concrete". International RILEM symposium on self-compacting concrete. Skarendahl and Petersson, RILEM publications pro 7: 497-508.
- Grünewald, S. and J. C. Walraven (2001). "Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete." *Cement and Concrete Research* 31(12): 1793-1798.
- Guimaraes, M., J. Valdes, A. Palomino and J. Santamarina (2007). "Aggregate production: fines generation during rock crushing". *International journal of mineral processing* 81(4): 237-247.
- Habel, K., J.-P. Charron, E. Denarié and E. Brühwiler (2006). "Autogenous deformations and viscoelasticity of UHPFRC in structures. Part I: experimental results." *Magazine of Concrete Research* 58(3): 135-145.
- Hassan, R., Yumrutaş and A. Akpolat (2015). "Mechanical and thermophysical properties of lightweight aggregate concretes." *Construction and Building Materials* 96: 217-225.
- Ho, D., A. Sheinn, C. Ng and C. Tam (2002). "The use of quarry dust for SCC applications". *Cement and concrete research* 32(4): 505-511.
- Holschemacher, K. (2004). "Hardened material properties of self- compacting concrete." *Journal of civil engineering and management* 10(4): 261-266.
- Holt, E., O. Shodet (2002). "Self-compacting concrete: early âge shrinkage", Internai report RTE40- IR-21.
- Hughes, B. P. and N. Fattuhi (1976). "Improving the toughness of high strength cement paste with fibre reinforcement." *Composites* 7(3): 185-188.
- Hwang, S.-D. (2006). "Performance des bétons autoplaçants développés pour la réparation des infrastructures en béton." thèse de doctorat, Université de Sherbrooke, Canada: 347.
- Işıkdağ, B. (2015). "Characterization of lightweight ferrocement panels containing expanded perlite-based mortar." *Construction and Building Materials* 81: 15-23.
- Jawahar, J. G., C. Sashidhar, I. R. Reddy and J. A. Peter (2013). "Micro and macrolevel properties of fly ash blended self compacting concrete." *Materials & design* 46: 696-705.(Guru).

- Jiang, S. and H. Van Damme (1996). "Influence de fillers de nature différente sur l'hydratation et la texture des pâtes de C₃S". Université d'Orléan, CNRS, rapport CRMD-ATILH.
- Joffroy, P. (1999). "La réhabilitation des bâtiments: conserver, améliorer, restructurer les logements et les équipements", Editions du moniteur.
- Johnson, S. M. and M. Londez (1969). Dégénération, entretien et réparation des ouvrages de génie civil:" Deterioration, maintenance and repair of structures", par Sidney M. Johnson. Traduit par Michel Londez, Eyrolles.
- Jumaat, M., M. Kabir and M. Obaydullah (2006). "A review of the repair of einforced concrete beams." *Journal of Applied Science Research* **2**(6): 317-326
- Kaid, N., M. Cyr, S. Julien and H. Khelafi (2009). "Durability of concrete containing a natural pozzolan as defined by a performance-based approach". *Construction and building materials* **23**(12): 3457-3467.
- Kakali, G., S. Tsivilis, E. Aggeli and M. Bati (2000). "Hydration products of C₃A, C₃S and Portland cement in the presence of CaCO₃." *Cement and concrete research* **30**(7): 1073-1077.
- Khayat, K. and Y. Roussel (2000). "Testing and performance of fiber-reinforced, self-consolidating concrete." *Materials and Structures* **33**(6): 391-397.
- Khayat, K. and Y. Roussel (2000). "Testing and performance of fiber-reinforced, self-consolidating concrete." *Materials and structures* **33**(6): 391-397.
- Khonsari, V., E. Eslami and A. Anvari (2010). Effects of expanded perlite aggregate (EPA) on the mechanical behavior of lightweight concrete. *Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures-High Performance, Fiber Reinforced Concrete, Special Loadings and Structural Applications*, Korea Concrete Institute: 1354-1361.
- Kimball,S.M. (2016). "Menial Commodity Summaries 2016."
- Klug, Y. and K. Holschemacher (2003). "Comparison of the hardened properties of self-compacting and normal vibrated concrete". 3rd RILEM symposium on self compacting concrete, Reykjavik: 596-605.
- Knab, L. I. and C. B. Spring (1989). "Evaluation of test methods for measuring the bond strength of Portland cement based repair materials to concrete." *Cement, concrete and aggregates* **11**(1): 3-14.
- Kong, H.-J., S. G. Bike and V. C. Li (2003). "Development of a self-consolidating engineered cementitious composite employing electrosteric dispersion/stabilization." *Cement and concrete composites* **25**(3): 301-309.
- Kotwica, Ł., W. Pichór, E. Kapeluszna and A. Różycka (2017). "Utilization of waste expanded perlite as new effective supplementary cementitious material." *Journal of Cleaner Production* **140**: 1344-1352.

- Krachai R.M., M.A. Bouabdallah, H.A Abdelhadi et k. Hamou (2009). "Influence de la pouzzolane de beni-saf sur les performances mecaniques des betons autoplaçants". 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran, Alegria.
- Lanzón, M. and P. García-Ruiz (2008). "Lightweight cement mortars: advantages and inconveniences of expanded perlite and its influence on fresh and hardened state and durability." *Construction and Building Materials* **22**(8): 1798-1806.
- Lawrence, P. (2000). "Sur l'activité des cendres volantes et des additions minérales chimiquement inertes dans les matériaux cimentaires". Thèse de doctorat, Toulouse.
- Lawrence, P., M. Cyr and E. Ringot (2005). "Mineral admixtures in mortars effect of type, amount and fineness of fine constituents on compressive strength." *Cement and concrete research* **35**(6): 1092-1105.
- Leemann, A., B. Münch, P. Gasser and L. Holzer (2006). "Influence of compaction on the interfacial transition zone and the permeability of concrete." *Cement and Concrete Research* **36**(8): 1425-1433.
- Lemonis, N., P. Tsakiridis, N. Katsiotis, S. Antiohos, D. Papageorgiou, M. Katsiotis and M. Beazi-Katsioti (2015). "Hydration study of ternary blended cements containing ferronickel slag and natural pozzolan." *Construction and building materials* **81**: 130-139.
- Li, G., H. Xie and G. Xiong (2001). "Transition zone studies of new-to-old concrete with different binders." *Cement and concrete composites* **23**(4): 381-387.
- Loser, R. and A. Leemann (2009). "Shrinkage and restrained shrinkage cracking of self-compacting concrete compared to conventionally vibrated concrete." *Materials and structures* **42**(1): 71-82.
- Lothenbach, B., G. Le Saout, E. Gallucci and K. Scrivener (2008). "Influence of limestone on the hydration of Portland cements." *Cement and concrete research* **38**(6): 848-860.
- Luo, X., W. Sun and S. Y. Chan (2001). "Steel fiber reinforced high-performance concrete: a study on the mechanical properties and resistance against impact." *Materials and Structures* **34**(3): 144-149.
- Mallat, A. and A. Alliche (2011). "Mechanical investigation of two fiber-reinforced repair mortars and the repaired system." *Construction and building materials* **25**(4): 1587-1595.
- Mamillan, M. (1994). "Restauration des bâtiments en béton armé". Edition Techniques de l'ingénieur.
- Marosszeky, M. (1991). "Major Factors Influencing the Performance of Structural Repair." *Special publication* **128**: 819-838.
- Mauroux, T. (2011). "Impact du séchage sur les propriétés d'adhérence entre un mortier et un support: influence de l'adjuvantation par des éthers cellulose". Thèse de doctorat, université de La Rochelle.

- Mauroux, T., F. Benboudjema, P. Turcry, A. Aït-Mokhtar and O. Deves (2012). "Study of cracking due to drying in coating mortars by digital image correlation." *Cement and concrete research* **42**(7): 1014-1023.
- Medeiros, M., P. Helene and S. Selmo (2009). "Influence of EVA and acrylate polymers on some mechanical properties of cementitious repair mortars." *Construction and building materials* **23**(7): 2527-2533.
- Mehta, P. (1981). "Studies on blended Portland cements containing Santorin earth." *Cement and concrete research* **11**(4): 507-518.
- Mehta, P. K. (1986). "Concrete. Structure, properties and materials." USA: Prentice-hall: 36–41.
- Mehta, P. K. (1989). "Pozzolanic and cementitious by-products in concrete--another look." *Special publication* **114**: 1-44.
- Mehta., PK, M. (2005). "Concrete: microstructure, properties, and materials". 3rd edition. New York: The McGraw- Hill Companies, Inc: 659.
- Momayez, A., M. Ehsani, A. Ramezani pour and H. Rajaie (2005). "Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials." *Cement and concrete research* **35**(4): 748-757.
- Morgan, D. (1996). "Compatibility of concrete repair materials and systems." *Construction and building materials* **10**(1): 57-67.
- Najimi, M., J. Sobhani, B. Ahmadi and M. Shekarchi (2012). "An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan." *Construction and building materials* **35**: 1023-1033.
- Najm, H. S. and A. E. Naaman (1995). "Prediction Model for the Elastic Modulus of High-Performance Fiber Reinforced Cement-Based Composites." *Materials Journal* **92**(3): 304-314.
- Nawa, T., T. Izumi and Y. Edamatsu (1998). "State-of-the-art report on materials and design of self-compacting concrete". International workshop on self-compacting concrete.
- Nepomuceno, M. (2005). "Methodology for self-compacting concretes design". PhD thesis in Civil Engineering, Beira Interior University, Covilhã, Portugal.
- Neville, A. M. (2000). "Properties of concrete". Edition Eyrolles (in French), Paris: 806.
- NF EN 480-2. (2006). "Adjuvants pour béton, mortier et coulis - Méthodes d'essai - Partie 2 : détermination du temps de prise".
- Nicot, P. (2008). "Interactions mortier-support: éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier". Thèse de doctorat, Université Toulouse III-Paul Sabatier.
- Nikbin, I., M. Beygi, M. Kazemi, J. V. Amiri, S. Rabbanifar, E. Rahmani and S. Rahimi (2014). "A comprehensive investigation into the effect of water to cement ratio and powder

- content on mechanical properties of self-compacting concrete." *Construction and building materials* **57**: 69-80.
- Nishibayashi, S., A. Yoshino, S. Inoue and T. Kuroda (1996). "Effect of properties of mix constituents on rheological constants of self-compacting concrete". RILEM proceeding.
- Norme, I. (1991). "8302. Isolation thermique–détermination de la résistance thermique et des propriétés connexes en régime stationnaire-méthode de la plaque chaude gardée." *International Organization for Standardization* **302**: 14.
- Oh, S., T. Noguchi and F. Tomosawa (1999). "Toward mix design for rheology of self-compacting concrete". *proc. of First International RILEM symposium on self-compacting concrete, Stockholm*.
- Ohama, Y. (1995). "Handbook of polymer-modified concrete and mortars: properties and process technology". William Andrew.
- Ohama, Y. (1998). "Polymer-based admixtures." *Cement and concrete composites* **20**(2-3): 189-212.
- Okamura, H., K. Ozawa and M. Ouchi (2000). "Self-compacting concrete". *Structural concrete* **1**(1): 3-17.
- Omikrine Metalssi, O. (2007). "Étude des couplages hydratation-échanges hydriques-carbonatation dans les mortiers modifiés polymères". Thèse de doctorat, Université de La Rochelle.
- Ouchi, M., M. Hibino, K. Ozawa and H. Okamura (1998). "A rational mix-design method for mortar in self-compacting concrete". *Structural engineering & construction: Tradition, present and future*. **2**: 1307-1312.
- Ozawa, K., S. Tangtermsirikul and K. Maekawa (1992). "Role of powder materials on the filling capacity of fresh concrete". *Supplementary Papers, Fourth CANMET/ACI International Symposium on Fly ash, silica fume, Slag, and natural pozzolans in concrete, Istanbul*.
- Pan, Y. (1995). "Bond strength of concrete patch repairs: an evaluation of test methods and the influence of workmanship and environment". Youguang Pan.
- Pantawee, S. and T. Sinsiri (2012). "The use of natural pozzolana in lightweight concrete". *University of Technology, NakhonRatchasima, Thailand*.
- Paramasivam, P., K. Ong, B. Ong and S. Lee (1995). "Performance of repaired reinforced concrete slabs under static and cyclic loadings." *Cement and Concrete Composites* **17**(1): 37-45.
- Parexlanko. (2008). "Guide des mortiers spéciaux solutions de réparation".
- Park, S.-B. and B.-C. Lee (2004). "Studies on expansion properties in mortar containing waste glass and fibers." *Cement and Concrete Research* **34**(7): 1145-1152.

- Pattnaik, R. (2006). "Investigation into compatibility between repair material and substrate concrete using experimental and finite element method."
- Pattnaik, R. R. and P. R. Rangaraju (2007). "Analysis of compatibility between repair material and substrate concrete using simple beam with third point loading." *Journal of Materials in Civil Engineering* **19**(12): 1060-1069.
- Pavlidou, E. (2011). "Systematic analysis of natural pozzolans from Greece suitable for repair mortars." *Journal of thermal analysis and calorimetry* **108**(2): 671-675.
- Peffer, G.(1991). "Les composites à matrice cimentaire renforcés de fibres FIBRAFLEX". Documentation du centre de recherche de Pont à Mousson.
- Pelletier, M.-A. (2003). "Utilisation de matériaux composites et/ou de béton autoplaçant pour réhabiliter des structures en béton armé étude du comportement au fluage". Université de Sherbrooke. Mémoire de maîtrise en sciences appliquées génie civil, Sherbrooke , Quebec, Canada: 3-7.
- Poppe, A.-M. and G. De Schutter (2005). "Cement hydration in the presence of high filler contents." *Cement and concrete research* **35**(12): 2290-2299.
- Qian, S., J. Zhang and D. Qu (2006). "Theoretical and experimental study of microcell and macrocell corrosion in patch repairs of concrete structures." *Cement and concrete composites* **28**(8): 685-695.
- Qiao, F., C. Chau and Z. Li (2009). "Setting and strength development of magnesium phosphate cement paste." *Advances in cement research* **21**(4): 175-180.
- Ramezaniapour, A. (1987). "Engineering properties and morphology of pozzolanic cement-concrete". PhD Thesis, university of Leeds.
- Ramli, M. and A. A. Tabassi (2011). "Influences of polymer modification and exposure conditions on chloride permeability of cement mortars and composites." *Journal of Materials in Civil Engineering* **24**(2): 216-222.
- Rathish P., Kumar and K. Srikanth (2008). "Mechanical characteristics of fiber reinforced self compacting repair mortars". *Asian journal of civil engineering (building and housing)* **9**(6): 647-657.
- Ray, A., R. Sriravindrarajah, J.-P. Guerbois, P. Thomas, S. Border, H. Ray, J. Haggman and P. Joyce (2007). "Evaluation of waste perlite fines in the production of construction materials." *Journal of thermal analysis and calorimetry* **88**(1): 279-283.
- Rehabcon, M. (2004). "Strategy for Maintenance and Rehabilitation in Concrete Structures." EC DG ENTR-C-2 Innovation and SME Programme.
- Rilem .(2001). "Self-Compacting Concrete. State-of-the-art report of RILEM Technical Committee 174-SCC". Edited by A. Skarendahl and O. Petersso, RILEM Publications, France.

- Rizwan, S. A. (2006). "High-performance mortars and concrete using secondary raw materials."
- Rossi, P., P. Acker and Y. Malier (1987). "Effect of steel fibres at two different stages: the material and the structure". *Materials and structures* **20**(6): 436-439.
- Rozière, E., S. Granger, P. Turcry and A. Loukili (2007). "Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self-compacting concrete." *Cement and concrete composites* **29**(8): 626-636.
- Sahmaran, M., A. Yurtseven and I. O. Yaman (2005). "Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete." *Building and Environment* **40** (12): 1672-1677.
- Şahmaran, M., H. A. Christianto and İ. Ö. Yaman (2006). "The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars." *Cement and concrete composites* **28**(5): 432-440.
- Sahmaran, M., H. E. Yucel, M. Al-Emam, I. O. Yaman and M. Guler (2013). "Bond Characteristics of Engineered Cementitious Composite Overlays". Transportation research board 92nd annual Meeting.
- Saraya, M. (2010). "Stopping of cement hydration by various methods." *HBRC Journal* **6**: 36-60.
- Sarıdemir, M. (2013). "Effect of silica fume and ground pumice on compressive strength and modulus of elasticity of high strength concrete." *Construction and building materials* **49**: 484-489.
- Satoh, A., K. Yamada and Y. Shinohara (2014). "Simulation of adhesion performance of mortar-mortar interface with varied fractographic features". Key engineering materials, trans tech publication.
- Scrivener, K. L. and K. M. Nemati (1996). "The percolation of pore space in the cement paste/aggregate interfacial zone of concrete." *Cement and Concrete Research* **26**(1): 35-40.
- Sedran, T. (1995). "Les bétons auto-nivellants (BAN) synthèse bibliographique". *Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées*.
- Sedran, T. (1999). "Rhéologie et rhéométrie des bétons. Application aux bétons autonivelants". Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées.
- Sengul, O., S. Azizi, F. Karaosmanoglu and M. A. Tasdemir (2011). "Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete." *Energy and Buildings* **43**(2): 671-676.
- Sengul, O., S. Azizi, F. Karaosmanoglu and M. A. Tasdemir (2011). "Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete." *Energy and Buildings* **43**(2): 671-676.

- Shah, S. P., W. J. Weiss and W. Yang (1998). "Shrinkage Cracking--Can It Be Prevented" *Concrete International* **20** (4): 51-55.
- Shannag, M. (2000). "High strength concrete containing natural pozzolan and silica fume." *Cement and concrete composites* **22**(6): 399-406.
- Shannag, M. J. and A. Yeginobali (1995). "Properties of pastes, mortars and concretes containing natural pozzolan". *Cement and concrete research* **25**(3): 647-657.
- Silfwerbrand, J. (2003). "Shear bond strength in repaired concrete structures." *Materials and structures* **36**(6): 419-424.
- Silfwerbrand, J. and J. Paulsson (1998). "Better bonding of bridge deck overlays." *Concrete International* **20**(10): 56-61.
- Silva, P. and J. de Brito (2013). "Electrical resistivity and capillarity of self-compacting concrete with incorporation of fly ash and limestone filler". *Adv. concr. constr* **1**(1): 65-84.
- Silva, P., J. de Brito and J. Costa (2011). "Viability of two new mixture design methodologies for self-consolidating concrete". *ACI materials journal* **108**(6): 579-588.
- Solutions béton. (2011). "Les Solutions techniques pour la réparation et le renforcement des ouvrages de génie civil en béton". *Constructions modernes, annuel ouvrages d'art*: 18-19.
- Standard, I. (1991). "8302: 1991." *Thermal Insulation-Determination of Steady Thermal Resistance and Related Properties-Guarded Hot Plate Apparatus*, ISO, Geneva, Switzerland.
- Sugamata, T., M. Hibino, M. Ouchi and H. Okamura (2000). "A Study of the Particle Dispersion Effect of Polycarboxylate-based Superplasticizers". *Transactions of the Japan Concrete Institute* **21**: 7-14.
- Sun, W., H. Yan and B. Zhan (2003). "Analysis of mechanism on water-reducing effect of fine ground slag, high-calcium fly ash, and low-calcium fly ash." *Cement and concrete research* **33**(8): 1119-1125.
- Tangtermsirikul, S., J. Sakamoto, T. Shindoh and Y. Matsuoka (1991). "Evaluation of resistance to segregation of super workable concrete and the role of a new type of viscosity agent". *Reports of the technical research institution* **24**: 369-376.
- Tekin, N., A. Dinçer, Ö. Demirbaş and M. Alkan (2010). "Adsorption of cationic polyacrylamide (C-PAM) on expanded perlite." *Applied Clay Science* **50**(1): 125-129.
- Temiz, H. and F. Kantarcı (2014). "Investigation of durability of CEM II BM mortars and concrete with limestone powder, calcite powder and fly ash." *Construction and building materials* **68**: 517-524.
- Theillout, J. (1997). "Le projet de renforcement ou de réparation des ponts en béton". In Calgaro (J.-A.), Lacroix (R.) et al. *Maintenance et réparations des ponts*. Paris: presse de l'école nationale des ponts et chaussées: 425-459.

- Thibaut P.M., Coumoul A. (2000). "Mémento roches et minéraux industriels: La perlite". BRGM/RP-50469-FR: 90.
- Thomassin, M. (2010). "Propriétés mécaniques et comportement des réparations structurales en béton". Mémoire de maîtrise.
- Thomasson, F. (1982). "Les enduits monocouches à base de liants hydrauliques." Unitecta France, Paris La Défense 129.
- Topçu, İ. B. and B. Işıkdag (2007). "Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite." *Building and Environment* **42**(10): 3540-3546.
- Tran, Q. T. (2006). "Interface ancien-nouveau béton: caractérisation du comportement adoucissant de l'interface au cours de décollement et son évolution dans le cas de sollicitation de fatigue". Toulouse 3.
- Tsivilis, S., E. Chaniotakis, E. Badogiannis, G. Pahoulas and A. Ilias (1999). "A study on the parameters affecting the properties of Portland limestone cements". *Cement and concrete composites* **21**(2): 107-116.
- Turanli, L., B. Uzal and F. Bektas (2004). "Effect of material characteristics on the properties of blended cements containing high volumes of natural pozzolans." *Cement and concrete research* **34**(12): 2277-2282.
- Turk, K. (2012). "Viscosity and hardened properties of self-compacting mortars with binary and ternary cementitious blends of fly ash and silica fume." *Construction and building materials* **37**: 326-334.
- Türkmen, İ. and A. Kantarcı (2007). "Effects of expanded perlite aggregate and different curing conditions on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete." *Building and Environment* **42**(6): 2378-2383.
- Urhan, S. (1987). "Alkali silica and pozzolanic reactions in concrete. Part 2: Observations on expanded perlite aggregate concretes." *Cement and Concrete Research* **17**(3): 465-477.
- Uzal, B., L. Turanli and P. Kumar Mehta (2007). "High-volume natural pozzolan concrete for structural applications." *ACI Materials Journal* **104**(5): 535-538.
- Vernet, C. and G. Cadoret (1992). "Suivi en continu de l'évolution chimique et mécanique des BHP pendant les premiers jours". *Les Bétons à Hautes Performances-Caractérisation, durabilité, applications*, presse de ENPC.
- Voglis, N., G. Kakali, E. Chaniotakis and S. Tsivilis (2005). "Portland-limestone cements. Their properties and hydration compared to those of other composite cements." *Cement and concrete composites* **27**(2): 191-196.
- Vuk, T., V. Tinta, R. Gabrovšek and V. Kaučič (2001). "The effects of limestone addition, clinker type and fineness on properties of Portland cement." *Cement and concrete research* **31**(1): 135-139.

Wells, J. A., R. D. Stark and D. Polyzois (1999). "Getting better bond in concrete overlays." *Concrete international* **21**(3): 49-52.

Www.perlite.org.

Xiong, G., J. Liu, G. Li and H. Xie (2002). "A way for improving interfacial transition zone between concrete substrate and repair materials." *Cement and concrete research* **32**(12): 1877-1881.

Yadegaran, I., M. Mahoutian, M. Shekarchi, N. Libre, G. De Schutter and V. Boel (2007). 106. "Effect of polypropylene fibers on shrinkage of self-compacting concrete". 5th International RILEM symposium on Self-Compacting Concrete, RILEM publications SARL. Ghent, Belgium **2**: 707-713.

Yang, Q., P. Zhu, X. Wu and S. Huang (2000). "Properties of concrete with a new type of saponin air-entraining agent." *Cement and concrete research* **30**(8): 1313-1317.

Ye, G., X. Liu, G. De Schutter, A.-M. Poppe and L. Taerwe (2007). "Influence of limestone powder used as filler in SCC on hydration and microstructure of cement pastes." *Cement and Concrete Composites* **29**(2): 94-102.

Yu, L.-H., H. Ou and L.-L. Lee (2003). "Investigation on pozzolanic effect of perlite powder in concrete." *Cement and Concrete Research* **33**(1): 73-76.

Yurugi, M., N. Sakata, M. Iwai and G. Sakai (2000). "Mix proportion for highly workable concrete". *Proceedings of concrete*: 579-589.

Zhang, M., R. Chevrier, V. Malhorta and J. Mirza (1997). "Use of High-Volume Fly Ash in Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete for Shotcrete Applications." *Special Publication* **170**: 681-722.

Zhang, M.H. and V. Mohan Malhotra (1996). "High-performance concrete incorporating rice husk ash as a supplementary cementing material." *ACI materials journal* **93**(6): 629-636.

Zhang, X. and J. Han (2000). "The effect of ultra-fine admixture on the rheological property of cement paste." *Cement and concrete research* **30**(5): 827-830.

Zollo, R. F. (1984). "Collated fibrillated polypropylene fibers in FRC." *Special Publication* **81**: 397-410.

ANNEXES

Sika® FerroGard®-903+

Imprégnation inhibitrice de corrosion (formule améliorée)

Enquête Technique SOCOTEC (CCT n° 15)

Conforme à la norme EN 1504-9, Principe 11, Méthode 11.3 (application d'inhibiteur sur le béton)

Description du produit

Sika® FerroGard®-903+ est une imprégnation en phase aqueuse à base d'inhibiteurs de corrosion, conçue pour le béton armé.

Sika® FerroGard®-903+ est à base de composés organiques. Il pénètre le béton et forme sur l'armature interne en acier une couche protectrice monomoléculaire.

La protection apportée par le Sika® FerroGard®-903+ permet de retarder le démarrage de la corrosion, de réduire le taux de corrosion, et d'accroître la durée de vie de l'ouvrage d'environ 15 ans (dès lors que le produit est utilisé comme partie intégrante du système complet Sika® de réparation et de protection).

Utilisation

- Protection contre la corrosion des armatures internes des structures en béton armé enterrées ou non.
- Traitement de contrôle de la corrosion pour le béton armé non endommagé, dans des zones où les armatures sont en cours de corrosion ou situées en zones non passives de béton carbonaté ou contaminées par des chlorures.
- Sika® FerroGard®-903+ est particulièrement adapté pour prolonger la durée de vie des ouvrages en béton.

Caractéristiques / Avantages

- Conforme au principe 11 de la norme EN 1504-9 ; Méthode 11.3 (application d'inhibiteur sur le béton)
- Conserve l'apparence, l'aspect de surface du support
- Conserve les propriétés de diffusion de la vapeur d'eau du béton
- Protection à long terme et durabilité
- Peut être appliqué sur des réparations existantes et dans les zones environnantes afin de prévenir la formation d'anodes latentes
- Protège à la fois les zones anodiques (EN 1504-9, principe 11) et cathodiques (EN 1504-9, principe 9)
- Peut être utilisé quand les autres options de réparation / prévention ne sont pas applicables
- Prolongation économique de la durée de vie des ouvrages en béton armé
- Application, entretien et maintenance faciles et économiques
- Contrôle qualité sur chantier : mesure de la profondeur de pénétration grâce à la Procédure Sika® d'Analyse Qualitative (nous consulter).

Essais

Agréments / normes

- Enquête SOCOTEC - CCT n° 15 Réparation - Prévention - Protection
- PV du CEBTP n° 2393.6 100 - Octobre 2000.
- Rapport BRE n° 224-346, 2005 (effets préventifs de l'inhibiteur en milieu chloré)
- Rapport d'évaluation Mott Mac Donald n° 26063/001 Rev A Programme d'essai des inhibiteurs de corrosion Sika FerroGard - Avril 1996.
- SAMARIS (Sustainable and Advanced Materials for Roads Infrastructures)- rapport final, rapports D17a, D17b (analyse bibliographique et étude en laboratoire), D21 (suivi activité de corrosion in situ), D25a (recommandations de spécifications).
- Inhibiteurs de corrosion pour les structures de béton armé à hautes performances- Université de Surrey, 1999. Mulheron, M., Nswaubani, SO.
- C-Probe Systems Ltd., Performance des inhibiteurs de corrosion en pratique, 2000



Caractéristiques

Aspect /Couleur Liquide incolore

Conditionnement Bidon 25 kg
Fût 220 kg (sur commande spéciale – nous consulter)

Stockage

Conditions de stockage / Conservation 24 mois après la date de fabrication, quand le produit est stocké dans son emballage d'origine intact, non entamé, à l'abri du gel.
En cas de gel (< -5°C) une cristallisation peut apparaître. Ce phénomène est réversible ; pour cela, stocker le produit à une température comprise entre +15°C et +25°C. Bien remuer jusqu'à disparition complète des cristaux.

Caractéristiques techniques

Nature chimique Solution en phase aqueuse d'amino alcools et sels amino alcools.

Densité (à 23°C) ~ 1.6 kg/l à 20°C

pH ~ 10

Viscosité ~ 24 mPa.s

Profondeur et vitesse de pénétration Des analyses sur échantillons prélevés sur chantier ont montré que Sika® FerroGard®-903+ pénètre le béton de plusieurs millimètres par jour et jusqu'à une profondeur de 25 à 40 mm en 1 mois. La vitesse de pénétration peut être accélérée ou retardée suivant la porosité du béton. Sika® FerroGard®-903+ migre par mécanismes de diffusion à la fois sous forme vapeur et liquide.

Procédés

Composants du procédé Sika® FerroGard®-903+ fait partie des procédés de réparation et protection du béton.

Procédés de réparation SikaTop®, Sika MonoTop®, SikaRep®	Contrôle de la corrosion Sika® FerroGard®-903+	Protection du béton Revêtements ou hydrofuges Sikagard®
--	---	---

Application En complément de la présente notice technique, consulter le Cahier des Clauses Techniques de Pose.

Consommation / Dosage Généralement ~ 0,500 kg/m² (480 ml/m²)
Dans le cas de béton compacte à faible porosité, la consommation peut être réduite mais ne doit pas être inférieure à 0,300 kg/m² (290 ml/m²).
Afin d'évaluer la consommation et la profondeur de pénétration pour un projet précis, utiliser la procédure Sika® d'analyse qualitative – Nous consulter.

Qualité du support Le support en béton doit être propre, sain, débarrassé de toute partie non ou peu adhérente, exempt de trace d'huile, de laitance, de graisse, de produit de cure, de salissure, de poussière, d'ancien revêtement, de ragréage, de laitance,... qui peuvent réduire et limiter la pénétration et la migration du Sika® FerroGard®-903+.
Dans le cas où le support doit être recouvert d'un revêtement (peinture de protection ou enduit de finition), la rugosité du support doit être suffisante pour favoriser l'adhérence.

Préparation du support	<p>Les points faibles et les dégradations (fissures, éclats, ...) doivent être réparés au préalable : élimination des parties non adhérentes, traitement des armatures, reprofilage à l'aide de mortiers de la gamme SikaTop[®], Sika[®] MonoTop[®], SikaRep[®].</p> <p>Pour les bétons devant être protégés par revêtements Sikagard[®] ou imprégnations hydrofuges Sikagard[®], préparer la surface par jet d'eau sous pression (jusqu'à 18 MPa – 180 bars).</p> <p>Pour les bétons devant être recouverts par des mortiers à base de ciment, préparer le support par sablage, sablage humide, jet d'eau sous pression (jusqu'à 60 MPa - 600 bars).</p> <p>Ne pas utiliser d'eau chaude.</p> <p>Pour favoriser la pénétration et la migration du Sika[®] FerroGard[®]-903+ (absorption par le support).laisser sécher la surface du béton avant l'application.</p>
-------------------------------	--

Conditions d'applications

Température du support +5°C min. / +40°C max.

Température ambiante +5°C min. / +40°C max.

Mise en œuvre

Préparation du mélange Le Sika[®] FerroGard[®]-903+ est livré prêt à l'emploi et ne doit pas être dilué. Ne pas secouer avant emploi.

Application / Outils Appliquer le produit à saturation sur toute la surface à l'aide d'une brosse, d'un rouleau, par pulvérisation basse pression / projection (y compris avec un équipement airless).

Après l'application de la dernière couche, dès que la surface devient mate, faire un nettoyage à l'eau à basse pression (tuyau d'arrosage)

Le jour suivant l'application, les surfaces traitées doivent être nettoyées à l'eau sous pression (~ 10 MPa – 100 bars).

Nettoyage des outils Les outils se nettoient avec de l'eau immédiatement après l'emploi.

Temps d'attente / recouvrement

Nombre de couches :

Il dépend de la porosité, de l'humidité du support, et des conditions ambiantes.

Surfaces verticales :

Normalement, 2 à 3 couches sont nécessaires pour atteindre la consommation requise. Dans le cas de béton compacte peu poreux, il peut être nécessaire d'appliquer plusieurs couches complémentaires.

Surfaces horizontales :

Appliquer à saturation en 1 à 2 couches sans laisser de film en surface.

Temps d'attente entre couches :

Il dépend de la porosité du support, et des conditions ambiantes ; normalement il varie de 1 à 6 heures. Avant d'appliquer la (les) couche(s) suivante(s), attendre que la précédente soit d'apparence mate.

Recouvrement :

Si l'application est réalisée comme décrit précédemment, aucun traitement complémentaire n'est nécessaire avant le recouvrement par les imprégnations hydrofuges ou par les revêtements de protection Sikagard. (se référer à la notice technique correspondante pour l'application des produits).

Quand le Sika[®] FerroGard[®]-903+ doit être utilisé sur une réparation ou avant un revêtement de protection à base de ciment, les procédés Sika[®] de réparation et de protection seront appliqués après préparation classique (humidification des supports).

Quand un produit de surfacage ou de protection complémentaire doit être appliqué sur un support préalablement traité au Sika[®] FerroGard[®]-903+, utiliser le SikaTop[®] 121, Sikagard[®]-720 EpoCem, SikaTop[®]-107. Ces mortiers à base de ciment nécessitent une préparation adaptée du support afin d'ouvrir la porosité de surface.

Si d'autres produits des gammes Sika[®] doivent être utilisés, des essais de convenance sont recommandés sur chantier pour confirmer la compatibilité.

Pour les produits autres que ceux de la gamme Sika, contacter le service technique du fabricant pour obtenir la confirmation de la compatibilité du produit avec le Sika[®] FerroGard[®]-903+, ou à défaut entreprendre des essais de convenance sur chantier afin d'évaluer la compatibilité et l'adhérence.

<p>Notes sur l'application / Limites</p>	<p>Ne pas appliquer quand il y a risque de pluie ou de gel.</p> <p>Les matériaux absorbants suivants, adjacents à la zone traitée en Sika® FerroGard®-903+, doivent être couverts et protégés des projections et éclaboussures pendant l'application : aluminium, zinc, cuivre, acier galvanisé, marbre, pierre naturelle,</p> <p>Les défauts du béton doivent être réparés en utilisant les méthodes conventionnelles de réparation (repiquage et enlèvement du béton dégradé et/ou contaminé, traitement de l'armature interne, réparation et reprofilage de l'ouvrage,...)</p> <p>En alternative à la méthode décrite précédemment, le Sika® FerroGard®-903+ peut être appliqué <u>après les travaux de réparation</u> (après durcissement du produit de réparation), <u>mais pas après les couches de protection</u>.</p> <p>Les zones venant d'être réparées (produit de réparation en cours de prise et de durcissement) ne doivent pas être traitées immédiatement par l'imprégnation inhibitrice Sika® FerroGard®-903+. Si cette recommandation n'est pas respectée, une plus faible migration est attendue dans ces zones.</p> <p>Il est nécessaire que la teneur en ions chlorure dans le béton au niveau des barres d'armatures soit inférieure à 1 % (ce qui correspond à 1,7 % de chlorure de sodium) par rapport au poids de ciment.</p> <p>Au dessus de cette limite, selon les conditions de climatiques de chantier et le niveau d'activité de corrosion, une augmentation de consommation de Sika® FerroGard®-903+ est à considérer. Des essais et le relevé des taux de corrosion sur chantier doivent être menés pour confirmer la consommation et l'efficacité du procédé.</p> <p>Afin d'apporter une protection efficace, la concentration en Sika® FerroGard®-903+ au niveau de la barre d'armature du béton armé doit être au minimum de 100 ppm mesurée par chromatographie ionique (nous consulter - méthode détaillée applicable par des laboratoires spécialisés).</p> <p>Ne pas appliquer dans les zones de marnage, ou sur les supports saturés en eau.</p> <p>Eviter l'application en plein soleil et/ou plein vent.</p> <p>Ne pas appliquer sur béton en contact direct avec de l'eau potable.</p> <p>Suivant la structure du support, l'application de Sika® FerroGard®-903+ peut conduire exceptionnellement à un léger assombrissement de l'aspect de surface. Si besoin, prévoir des essais préliminaires.</p> <p>Le traitement préliminaire du support doit se faire exclusivement au moyen d'un nettoyage à haute pression avec de l'eau froide.</p>
---	--

<p>Durcissement / Séchage</p>	<p>Le Sika® FerroGard®-903+ ne nécessite pas délai de durcissement spécifique, mais doit être protégé de la pluie pendant au moins 4 h à 20°C.</p>
--------------------------------------	--

<p>Notes</p>	<p>Les données techniques figurant dans cette notice technique sont basées sur des essais de laboratoires</p>
---------------------	---

<p>Précautions d'emploi</p>	<p>Consulter la fiche de données de sécurité pour les précautions d'emploi.</p>
------------------------------------	---

<p>Mentions légales</p>	<p>Produit réservé à un usage strictement professionnel. Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»</p>
--------------------------------	--



Sika El Djazair
 08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
 Alger/ ALGERIE
 Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
 213 (0) 21 50 16 92 à 95
 Fax: 213 (0) 21 50 22 08



SIKATOP® SF 126

Mortier hydraulique prédosé à base de résine et de fumées de silice pour la réparation des bétons soumis à des atmosphères agressives.



Référentiel de certification NF 030

Enquête technique SOCOTEC, CCT 15 « Réparation – Prévention – Protection ».

Présentation

Kit prédosé comprenant :

- composant A (résine en émulsion et additifs spécifiques) : liquide de couleur blanche,
- composant B (ciment PM ES, charges spéciales, fumées de silice) : poudre de couleur grise.

Après mélange, on obtient un mortier de couleur grise.

Classement R4 selon la EN 1504-3.

Domaines d'application

- Réparation des bétons armés exposés à des milieux agressifs (sites industriels, bord de mer, montagne).
- Réparation d'épaufrures d'ouvrages d'art (ponts, barrages, etc).
- Réparation d'épaufrures d'ouvrages de génie civil (silos, réservoirs, écluses, etc).
- Réparation d'épaufrures de bâtiments.
- Réparation de nids de poule (sols industriels, ateliers, garages).

Caractères généraux

- Très bonne ouvrabilité.
- Bonne adhérence sur béton, mortier, brique, pierre.
- Applicable sur des épaisseurs de 3 à 100 mm par passe.
- Excellente imperméabilité.
- Hautes performances mécaniques.
- Excellente tenue au gel et aux sels de déverglaçage.
- Très bonne protection du béton armé contre les environnements agressifs.

Agréments, essais officiels

- Enquête technique SOCOTEC : Réparation - Prévention - Protection (CCT n° 15).
- Marque NF
- PV SCETAUROUTE - Résistance à l'écaillage, norme XP P 18.420 (tenue au gel et sels de déverglaçage).
- PV Préfecture de Police de Paris - Essai de réaction au feu : classement Mo.
- Marquage CE – EN 1504-3 :
Principe 3 (restauration du béton) – Méthode 3.1 et 3.3
Principe 4 (renforcement structural) – Méthode 4.4

Caractéristiques

Coloris Gris.



Conditionnement	Kit de 35 kg comprenant : <ul style="list-style-type: none"> ■ composant A : bidon plastique de 5 kg, ■ composant B : sac papier kraft de 30 kg. 																								
Stockage	A l'abri du gel et de l'humidité.																								
Conservation	1 an en emballage d'origine.																								
Données techniques																									
Densité	Densité du mortier frais : environ 2,1																								
Granulométrie	0 à 1 mm.																								
Epaisseur d'application	3 mm à 100 mm																								
Résistances mécaniques	Résistance à la compression selon la norme NF EN 12190 (valeurs données à titre indicatif) : <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>5°C</th> <th>20°C</th> <th>30°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 jours</td> <td>15 MPa</td> <td>30 MPa</td> <td>30 MPa</td> </tr> <tr> <td>28 jours</td> <td>45 MPa</td> <td>50 MPa</td> <td>45 MPa</td> </tr> </tbody> </table> Résistance à la flexion selon la norme NF EN 12190 (valeurs données à titre indicatif) : <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>5°C</th> <th>20°C</th> <th>30°C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2 jours</td> <td>5 MPa</td> <td>7 MPa</td> <td>8 MPa</td> </tr> <tr> <td>28 jours</td> <td>10 MPa</td> <td>10 MPa</td> <td>10 MPa</td> </tr> </tbody> </table>		5°C	20°C	30°C	2 jours	15 MPa	30 MPa	30 MPa	28 jours	45 MPa	50 MPa	45 MPa		5°C	20°C	30°C	2 jours	5 MPa	7 MPa	8 MPa	28 jours	10 MPa	10 MPa	10 MPa
	5°C	20°C	30°C																						
2 jours	15 MPa	30 MPa	30 MPa																						
28 jours	45 MPa	50 MPa	45 MPa																						
	5°C	20°C	30°C																						
2 jours	5 MPa	7 MPa	8 MPa																						
28 jours	10 MPa	10 MPa	10 MPa																						
Adhérence	Adhérence sur béton \geq 2 MPa à 28 jours selon la EN 1542.																								
Résistance aux cycles gel-dégel	Conforme à la norme XP P 18.420																								
Conditions d'application																									
Proportions du mélange	En poids : A/B = 1/6																								
Consommation	Elle dépend de la rugosité du support ainsi que de l'épaisseur de la couche appliquée. Il faut compter environ 2,1 kg par m ² et mm d'épaisseur.																								
Préparation du support	Le support doit être propre, sain et débarrassé des parties peu ou non adhérentes. Il doit être notamment exempt de traces d'huile, de graisse, de laitance, etc. Il doit présenter une cohésion superficielle minimum de 1 MPa. Les aciers doivent être brossés ou sablés, pour éliminer la rouille, puis recouverts du produit de passivation SIKA MONOTOP 610 AC (notice technique n° 6.03). La veille de la mise en œuvre, humidifier le support à refus. Au moment de l'application, l'humidifier à nouveau. Veiller cependant à ce qu'il soit non ruisselant et débarrassé de tout film ou flaque d'eau en surface lors de l'application.																								
Mise en œuvre																									
Conditions d'utilisation	La température d'application (produit, support et ambiance) doit se situer entre +5°C et + 30°C.																								

Préparation du mélange Le SIKATOP SF 126 est livré en kit prédosé en usine.
Verser la totalité du composant A dans un récipient propre à large ouverture puis ajouter progressivement la totalité du composant B.
Mélanger mécaniquement les deux composants à l'aide d'un malaxeur de puissance appropriée (1000 Watts) à une vitesse d'environ 300 tours/minute.
Le malaxage doit se faire pendant deux minutes minimum afin d'obtenir un mortier de couleur uniforme et de consistance homogène.
Si après quelques minutes on constate un raidissement du mélange, un simple remalaxage sans aucun rajout permet de lui redonner toute son onctuosité.

Nettoyage des outils Les outils se nettoient à l'eau avant durcissement du SIKATOP.

Mise en œuvre Le SIKATOP SF 126 s'applique, soit à la truelle en veillant à bien serrer le mortier, soit par projection.
Revenir éventuellement surfer à la taloche ou au polystyrène expansé dès que le mortier commence à tirer.
Le SIKATOP SF 126 peut supporter la pluie environ 4 heures après application à + 20°C.
Épaisseur minimale par couche : 3 mm.
Grâce aux fumées de silice, il est possible d'appliquer en vertical le SIKATOP SF 126 sans coffrage jusqu'à une épaisseur d'environ 10 cm en une seule passe.

Durée Pratique d'Utilisation	Température (ambiante, du produit)	D.P.U.
	5°C	env. 20 minutes
	10°C	env. 45 minutes
	20°C	env. 50 minutes
	25°C	env. 45 minutes
	30°C	env. 30 minutes

Le SIKATOP SF 126 contient des formulations spéciales d'adjuvants qui lui permettent d'avoir une D.P.U. supérieure à 30 minutes entre + 10°C et + 30°C.

En dessous de 10°C, l'effet des retardateurs est inhibé et un accélérateur contenu dans la formulation se déclenche afin de limiter les effets du froid et réduire le temps de prise du mortier.

Pour un produit stocké et utilisé à + 5°C, la D.P.U. est ramenée à 20 minutes environ.

Un stockage pendant quelques heures dans un local tempéré (15 à 20°C) du SIKATOP SF 126 devant être utilisé par temps chaud (plus de 28°C) ou froid (moins de 8°C), permet de rallonger si nécessaire les valeurs indiquées précédemment.

Matériel de mise en œuvre Agitateur électrique ou pneumatique à faible vitesse de rotation muni d'une hélice, taloche, truelle, polystyrène expansé, matériel de projection de type N2V de PFT, T7 de TURBOSOL.

Protection contre la dessiccation Comme tout mortier hydraulique, le SIKATOP SF 126 doit être protégé du gel, du vent et du soleil pendant la prise et le durcissement.

Précautions d'emploi Manipulation analogue à celle d'un mortier de ciment.
Eviter le contact avec la peau et les yeux. Ne pas respirer les poussières.
Consulter la fiche de données de sécurité pour les précautions d'emploi et l'élimination des déchets.

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel.


Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.

«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»

Marquage CE

La norme européenne EN 1504 est intégralement mise en application depuis le 1er Janvier 2009.

Tous les produits utilisés pour la réparation et la protection du béton doivent être marqués CE conformément à la partie appropriée de la norme EN 1504.

 0333
SIKA SA Usine de Gournay en Bray Z.I. de l'Europe 76220 GOURNAY EN BRAY 08 0333-CPD-03005
EN 1504-3 Produit de réparation structurale du béton Mortier PCC (à base de ciment hydraulique) Résistance en compression : classe R4 Teneur en ions chlorures : $\leq 0,05\%$ Adhérence : $\geq 2,0$ MPa Résistance à la carbonatation : Satisfaisant Module d'élasticité : 21,3 GPa Compatibilité thermique, partie 1 : $\geq 2,0$ MPa Absorption capillaire : $\leq 0,5 \text{ kg.m}^{-2}.\text{h}^{-0,5}$ Substances dangereuses : conforme à 5,4 Réaction au feu : Euroclasse F

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



Sika El Djazair
 08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
 Alger/ ALGERIE
 Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
 213 (0) 21 50 16 92 à 95
 Fax: 213 (0) 21 50 22 08



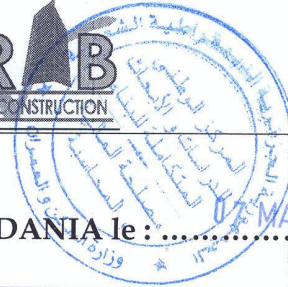
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة السكن و العمران
MINISTERE DE L'HABITAT ET DE L'URBANISME

Centre National d'Etudes et de
Recherches Intégrées du Bâtiment

المركز الوطني للدراسات
و الأبحاث المتكاملة للبناء



Réf : DTEM/.../2013

SOUIDANIA le : 07 MAI 2013

DEPARTEMENT TECHNIQUE ESSAIS ET MESURES

RAPPORT D'ESSAI

Prestation réalisée : Essais sur mortier de réparation « SIKA MONOTOP 650 »

A la demande de : SIKA EL DJAZAIR

Lieu des essais : Laboratoire Matériaux.

Nature des essais : Essais expérimentaux selon les normes EN 12190, EN 1542, NF EN 1504-3.

Observations :

Le présent procès verbal comporte 03 pages. Les résultats obtenus ne sont pas généralisables sans la représentativité des échantillons et des essais. Les résultats d'essais du présent procès verbal concernent les échantillons testés.

CITE NOUVELLE EL MOKRANI SOUIDANIA - ALGER

☎ : (021) 38 - 03 - 68 / (021) 38 - 04 - 05 Fax : (021) - 38- 04 - 31

E-Mail : cnerib@wissal.dz site Web : www.cnerib.edu

1 OBJET

A la demande de la société SIKA EL DJAZAIR, le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées du Bâtiment (CNERIB) a procédé à des essais expérimentaux sur un mortier de réparation dénommé SIKA MONOTOP 650.

Le présent rapport a pour objet de déterminer les caractéristiques de ce matériau et ce conformément aux spécifications techniques de la norme NF EN 1504-3.

Les essais ont portés sur la détermination de :

- La résistance à la compression selon la norme **EN 12190** ;
- L'adhérence appliquée sur béton durci selon la norme **EN 1542**.

2 RESULTATS OBTENUS

Résistances mécaniques

Les éprouvettes destinées aux essais mécaniques sont de forme prismatique de dimension 4x4x16 mm. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Valeurs des résistances mécaniques du mortier

Age (jours)	Résistances en compression (MPa)	Résistances en traction (MPa)
7	37.34	5.67
28	40.65	7.19

Contrainte d'adhérence

2.3.1 Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer directement l'adhérence d'un produit de réparation sur son support. Pour ce faire, une portion de surface circulaire de 5 cm de diamètre est isolée en effectuant une incision au moyen d'un trépan dans le produit. Ensuite, une pastille métallique est collée sur cette partie incisée. Une fois la colle suffisamment sèche, un effort perpendiculaire au plan du produit de réparation est appliqué à l'aide d'un appareil dénommé dynamomètre à soufflet. L'effort de traction exercé sur la pastille est augmenté jusqu'à l'arrachement de la surface incisée. Ainsi la force d'arrachement et le type de rupture sont déterminés.

La contrainte d'adhérence est le rapport de la charge de rupture à la surface nominale de la pastille. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Valeurs des contraintes d'adhérence du mortier

Repère N°	Charge de rupture (N)	Contrainte d'adhérence (N/mm ²)	Type de rupture
1	3400	1.73	Rupture cohésive dans le support béton,
2	3500	1.78	Rupture cohésive dans le support béton
3	3500	1.78	Rupture cohésive dans le support béton
4	3400	1.73	Rupture cohésive dans le support béton
5	3600	1.83	Rupture cohésive dans le support béton
	Moyenne	1.77	

3 CONCLUSION

Le présent procès-verbal consigne les résultats d'essais expérimentaux effectués sur le mortier de réparation SIKA MONOTOP 650. L'analyse des résultats obtenus permet de faire le constat ci-après :

1. Pour la résistance en compression et selon le résultat moyen obtenu à 28 jours ($R_{Cmoy} \geq 25$ MPa), le mortier se classe dans la classe R3.
2. Concernant l'essai d'adhérence, la moyenne de la contrainte d'adhérence obtenue est supérieur à 1.5 MPa, valeur pour la quelle ce mortier peut se classer dans les produits de réparation structurale de classe R3.

Le chargé des essais

MA.HADJ CHERIF

C/DTEM

Y. BENNA



GRANIFIBRES

Fibres en polypropylène

DESCRIPTION

GRANIFIBRES sont des fibres en polypropylène qui, ajoutées au béton et au mortier, réduisent les fissurations et le faïençage. Les chapes réalisées avec l'addition du **GRANIFIBRES** présentent de meilleures résistances à l'abrasion et aux chocs.

DOMAINES D'APPLICATION

- Hangars de stockage
- Ateliers mécaniques
- Revêtements extérieurs
- Aires de circulation
- Parkings...

PROPRIÉTÉS

Les fibres dans le béton ou mortier créent un réseau fibré de haute densité, qui :

- Améliorent la cohésion à l'état frais
- Réduisent les fissurations de retrait et le <cracking>
- Résistent aux milieux alcalins
- Augmentent les résistances à l'abrasion et aux chocs, pouvant atteindre des valeurs 100 fois supérieures à celle du témoin

CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

- Longueur de la fibre.....12 mm
- Densité.....0.9
- Point de fusion.....150°C
- Module de Young.....3kN / mm²
- Allongement à la rupture.....50%
- Section de la fibre.....30 microns

MODE D'EMPLOI

La quantité de **GRANIFIBRES** est ajoutée directement dans le malaxeur avec les composants du béton secs (sans eau).

Si **GRANIFIBRES** est utilisé en dose, prolonger le malaxage de 5 min. afin de faire dissoudre le sachet.

Pour les mortiers de granulométrie inférieure à 10 mm, il est préférable d'ajouter la quantité de fibres par dispersion manuelle.

CONSOMMATION :

Un sachet de 600 grammes par mètre cube de béton. Deux sachets de 600 grammes par mètre cube de mortier.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Cartons de 30 doses de 600 g en papier soluble et en sachet non soluble de 600 g pour mortier

A stocker à l'abri de l'humidité.

Durée de conservation :

3 ans dans son emballage d'origine.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex.dz

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



GRANIPAN F30

Conforme à la norme NF P 18-840.
Produit de réparation de surface, classe 2

Mortier fibré de réparation

DESCRIPTION

Le **GRANIPAN F30** est un mortier prêt à l'emploi conçu pour la réparation des bétons structuraux.

Le **GRANIPAN F30** est composé de :

- Liant hydraulique
- Fibres polypropylène
- Agrégats sélectionnés
- Adjuvants

DOMAINE D'APPLICATION

- Réparation structurale des bétons
- Réparation d'épaufrure sur éléments en béton
- Reprofilage, réfection d'angles de poutres, nez de marches...
- Réparation des sols industriels

PROPRIÉTÉS

- Bonne ouvrabilité
- Bonne adhérence sur béton
- Bonnes résistances mécaniques

CARACTÉRISTIQUES

- Granulométrie : 0 / 3 mm
- Densité de la poudre 1,5
- Adhérence sur béton (NF P18 858)..... >2 MPa
- Rc₂₈ (NA 427)..... >37,5 MPa

MODE D'EMPLOI

Préparation du support : (NFP74-203/ DTU59-3)

Le support doit être sain et propre. Il doit être débarrassé des parties non adhérentes ou friables. Les traces d'huile, de graisse, de laitance, etc., doivent être éliminées.

Les armatures doivent être dégagées de toute trace de rouille par sablage ou brossage puis recouverts par le produit anti-corrosion : **GRANIPROT ARMATURES**.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenue pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

Humidifier 24 heures après le support juste avant l'application du **GRANIPAN F30**.

Préparation du mélange :

Dans un récipient propre, verser la poudre en quantité suivant les travaux à réaliser, ajouter progressivement de l'eau propre, tout en mélangeant manuellement ou mécaniquement jusqu'à obtenir un mortier onctueux, homogène et sans grumeaux. La quantité nécessaire d'eau varie entre 4,5 et 5 litres par sac.

Application

Humidifier légèrement le support avant l'application. L'épaisseur de chaque couche de **GRANIPAN F30** ne doit pas dépasser 5 cm. Pour les épaisseurs supérieures à 5 cm, il faut procéder par couches successives, appliquées à 24 heures d'intervalle.

Cure:

Après mise en place, protéger le mortier contre une dessiccation rapide (arrosage, toile de jute humidifiée, produit de cure tel que le **MEDACURE**)

CONSOMMATION

A titre indicatif, la consommation moyenne sera d'environ 20 kg /m² et par cm d'épaisseur.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **GRANIPAN F30** est livré en sac papier kraft de 25kg. Stocker à l'abri de l'humidité.

Durée de conservation : 06 mois dans son emballage d'origine.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex.dz



GRANIPAN ME

Conforme à la norme NF P 18-840.
Produit de réparation de surface, classe 2

Mortier d'imperméabilisation

DESCRIPTION

Le **GRANIPAN ME** est un mortier étanche destiné aux revêtements d'imperméabilisation.

Il se présente sous forme d'une poudre qui mélangée à l'eau donne un mortier collant qui durcit par hydratation et sèche sans retrait.

Le **GRANIPAN ME** est composé de :

- Liant hydraulique
- Charges minérales
- Résine synthétique
- Hydrofuge de masse

DOMAINE D'APPLICATION

- Mortier d'imperméabilisation pour réservoirs d'eau, bassins, piscines...
- Imperméabilisation de murs et façades
- Réalisation de chapes imperméables...
- Réparation d'éléments en béton dans les milieux humides
- Cuvelage

PROPRIÉTÉS

- Très bonne imperméabilité
- Bonne ouvrabilité
- Bonne adhérence sur béton ou mortier
- Sans retrait

CARACTÉRISTIQUES

- Granulométrie : 0-3 mm
- Densité de la poudre 1,5
- Densité du mortier frais 2±0,1
- Adhérence (NF P18-858) >2MPa
- Rc₂₈ (NA 427) > 25 MPa

MODE D'EMPLOI

Préparation du support (NF P74-203/ DTU 59-3) :

Le support doit être sain et propre. Il doit être débarrassé des parties non adhérentes ou friables. Les traces d'huile, de graisse, de laitance, etc., doivent être éliminées.

Préparation du mélange :

Dans un récipient propre, verser la poudre en quantité suivant les travaux à réaliser, ajouter progressivement de l'eau propre, tout en malaxant manuellement ou mécaniquement jusqu'à obtenir un mortier onctueux, homogène et sans grumeaux. La quantité nécessaire d'eau varie entre 4,5 à 5 litres par sac.

Application :

Par temps très chaud il est recommandé d'humidifier les supports avant application.

Le mortier obtenu s'applique à la truelle, à la spatule ou à la taloche.

L'épaisseur de la couche en une passe de **GRANIPAN ME** ne doit pas dépasser 10 mm. Pour les épaisseurs supérieures à 10 mm, il faut procéder par couches successives appliquées à 24 heures d'intervalle.

CONSOMMATION

A titre indicatif, la consommation moyenne sera d'environ 2 kg /m² et par mm d'épaisseur.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **GRANIPAN ME** est livré en sacs papier kraft de 25 kg.

Stocker à l'abri de l'humidité.

Durée de conservation :

06 mois dans son emballage d'origine fermé.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex.dz

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenue pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



GRANIPAN R03

Conforme à la norme NF P 18-840.
Produit de réparation de surface, classe 3

Mortier de réparation

DESCRIPTION

Le **GRANIPAN R03** est un mortier prêt à l'emploi conçu pour la réparation et ragréage des bétons et mortiers.

Le **GRANIPAN R03** est composé de :

- Liant hydraulique
- Agrégats sélectionnés
- Résines d'adhérences
- Adjuvants

DOMAINES D'APPLICATION

- Réparation d'éléments en béton
- Réparation d'épaufrures sur éléments en béton
- Reprofilage, réfection d'angles de poutres, nez de marches...
- Réagréage de façades

PROPRIÉTÉS

- Bonne ouvrabilité
- Bonne adhérence sur béton, mortier, briques...
- Sans retrait
- Bonnes résistances mécaniques

CARACTÉRISTIQUES

- Granulométrie : 0-3 mm
- Densité de la poudre 1,5
- Adhérence sur béton (NF P18- 858).....>2 MPa
- Densité du mortier frais.....2,±0,1
- Rc₂₈ (NA 427).....>35 MPa
- Rt₂₈ (NA 431).....>6 MPa

MODE D'EMPLOI

Préparation du support (NFP74-203/ DTU59-3) :

Le support doit être sain et propre. Il doit être débarrassé des parties non adhérentes ou friables. Les traces d'huile, de graisse, de laitance, etc., doivent être éliminées.

Les armatures doivent être dégagées de toute trace de rouille par sablage ou brossage puis recouverts

par l'un des produit anti-corrosion : **GRANIPROT ARMATURES** .

Préparation du mélange :

Dans un récipient propre, verser la poudre en quantité suivant les travaux à réaliser, ajouter progressivement de l'eau propre, tout en malaxant manuellement ou mécaniquement jusqu'à obtenir un mortier onctueux, homogène et sans grumeaux. La quantité nécessaire d'eau varie entre 4,5 à 5 litres par sac.

Application :

Humidifier légèrement le support avant l'application. L'épaisseur de chaque couche de **GRANIPAN R03** ne doit pas dépasser 4 cm. Pour les épaisseurs supérieures à 4 cm, il faut procéder par couches successives appliquées à 24 heures d'intervalle.

Cure :

Après mise en place, protéger le mortier contre une dessiccation rapide (arrosage, toile de jute humidifiée, produit de cure **MEDACURE**)

CONSOMMATION

A titre indicatif, la consommation moyenne sera d'environ 40 kg/m² pour 2 cm d'épaisseur.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **GRANIPAN R03** est livré en sac papier kraft de 40 kg .

Stocker à l'abri de l'humidité.

Durée de conservation :

06 mois dans son emballage d'origine.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex.dz

PV d'essai conforme aux normes établi par le **CNERIB** en Avril 2007.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granitex

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com



GRANIPAN RFS

Conforme à la norme NF P 18-840.
Produit de réparation de surface, classe 2.

Mortier de réparation et de ragréage de béton en milieu agressif

DESCRIPTION

Le **GRANIPAN RFS** est un mortier pré dosé en 2 composants destiné à la réparation des bétons.

Le **GRANIPAN RFS** est composé de :

Elément A : Résine en émulsion

Elément B :

- Liant hydraulique
- Charges sélectionnées
- Fumée de silice
- Adjuvants

DOMAINES D'APPLICATION

- Réparation structurale des bétons exposés à des milieux agressifs.
- Reprofilage, réfection d'angles de poutres, nez de marches...
- Réparation de sols industriels
- Réparation d'ouvrages hydrauliques
- Ragréage de façades

PROPRIÉTÉS

- Bonne ouvrabilité
- Bonne adhérence sur béton, mortier, briques...
- Sans retrait
- Bonne imperméabilité

CARACTÉRISTIQUES

- Granulométrie : 0-3 mm
- Rapport pondéral (A / B)..... 1/6
- Densité du mortier frais..... 2,2
- Adhérence sur béton (NFP18-858)..... >2 MPa
- Rc₃ (NA 427)..... > 20 MPa
- Rf₃ (NA 431)..... > 2,5 MPa

MODE D'EMPLOI

Préparation du support (NF P74-203/ DTU 59-3) :

Le support doit être sain et propre. Il doit être débarrassé des parties non adhérentes ou friables. Les traces d'huile, de graisse, de laitance, etc., doivent être éliminées.

Les armatures doivent être dégagées de toute trace de rouille par sablage ou brossage puis recouverts par un inhibiteur de corrosion (**GRANIPROT ARMATURES** Humidifier de nouveau le support juste avant l'application du **GRANIPAN RFS**.

Préparation du mélange :

Verser l'élément **A** (résine en émulsion) dans un récipient propre ouvert. Ajouter progressivement l'élément **B** tout en malaxant (agitateur mécanique à faible vitesse de rotation), jusqu'à obtenir un mortier de consistance et de couleur homogène.

Application :

Le mortier obtenu s'applique à la truelle, à la spatule ou à la taloche. L'épaisseur de la couche en une main de **GRANIPAN RFS** ne doit pas dépasser 5 cm. Pour les épaisseurs supérieures à 5 cm, il faut procéder par couches successives appliquées à 24 heures d'intervalle.

Cure :

Après mise en place, protéger le mortier contre une dessiccation rapide (arrosage, toile de jute humidifiée, produit de cure tel que le **MEDACURE**)

CONSOMMATION

A titre indicatif, la consommation moyenne sera d'environ 22 kg/ m² et par cm d'épaisseur.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenue pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



GRANIPAN RFS

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **GRANIPAN RFS** est livré en kits de 35 kg :

Élément A : bidon de 5 kg

Élément B : sac de 30 kg.

Stocker à l'abri de l'humidité.

Durée de conservation :

06 mois dans son emballage d'origine fermé.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex.dz

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granitex

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com



GRANIREP SR35

Conforme à la norme NF P 18-840.
Produit de réparation de surface, classe 2

**Micro béton de réparation
de haute performance**

DESCRIPTION

Le **GRANIREP SR35** est un micro béton destiné à la réparation des bétons de structure.

Il peut-être appliqué manuellement ou par projection.

Le **GRANIREP SR35** est composé de :

- Liant hydraulique
- Agrégats sélectionnés
- Poudre de quartz
- Adjuvants

DOMAINES D'APPLICATION

- Réparation structurale des bétons
- Réparation d'épaufrure sur éléments en béton
- Reprofilage, réfection d'angles de poutres, nez de marches...
- Réparation de sols industriels
- Ragréage de façades

PROPRIÉTÉS

- Bonne ouvrabilité
- Bonne adhérence sur béton, mortier, briques...
- Sans retrait
- Résistances mécaniques élevées à jeune âge .
- Bonne imperméabilité

CARACTÉRISTIQUES

- Granulométrie..... 0-5 mm
- Densité du mortier frais..... 2,3
- Adhérence sur surface rugueuse..... >2MPa
- Rc₂₈ > 35,2 MPa
- Rf₂₈ > 6,2 MPa.

MODE D'EMPLOI

Préparation du support (NFP74-203/ DTU593) :

Le support doit être sain et propre. Il doit être débarrassé des parties non adhérentes ou friables. Les traces d'huile, de graisse, de laitance, etc., doivent être éliminées.

Les armatures doivent être dégagées de toute trace de rouille par sablage ou brossage puis recouverts par l'un des

produits anti-corrosion :

GRANIPROT ARMATURES

Humidifier de nouveau le support juste avant l'application du **GRANIREP SR35**.

dans le cas où les dégradations sont profondes, appliqué la résine de reprise de bétonnage, **MEDAPOXY Primer**, sans humidifier les supports.

Préparation du mélange :

Ajouter 5 à 6 litres d'eau pour un sac de 40 Kg et mélanger mécaniquement (à faible vitesse de rotation environ 3 min.), Jusqu'à obtenir un mortier de consistance et de couleur homogènes.

Application :

Le mortier obtenu s'applique manuellement ou par projection. L'épaisseur de chaque couche de **GRANIREP SR35** ne doit pas dépasser 15 cm. Pour les épaisseurs supérieures à 15 cm, il faut procéder par couches successives appliquées à 24 heures d'intervalle.

Cure :

Après mise en place, protéger le mortier contre une dessiccation rapide (arrosage, toile de jute humidifiée, produit de cure tel que le **MEDACURE**)

CONSOMMATION

A titre indicatif, la consommation moyenne sera d'environ 20 kg par m² et par cm d'épaisseur.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **GRANIREP SR35** est livré en sac papier kraft de 40 kg. Stocker à l'abri de l'humidité.

Durée de conservation :

06 mois dans son emballage d'origine.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Avril 2007

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granitex

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com



MasterEmaco[®] S 488

(Anciennement EMACO S 88)

**Mortier de réparation thixotrope, sans retrait, résistant aux sulfates.
Mortier projetable, truellable, coulabe.**

DESCRIPTION :

Le **MasterEmaco[®] S 488** est un produit en poudre prêt-à-gâcher. Mélangé avec de l'eau, on obtient un mortier rhéoplastique, fluide et sans ségrégation, thixotrope, à hautes résistances, avec une forte adhérence à l'acier et au béton. Le mortier **MasterEmaco[®] S 488** est thixotrope et sans retrait, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci. Renforcé de fibres acryliques, LE MasterEmaco S 488 est imperméable et extrêmement durable même dans des ambiances très agressives. Il ne contient pas d'agrégats métalliques et est exempt de chlorures. Le **MasterEmaco[®] S 488** est recommandé pour des travaux de réparation applicables à la truelle ou par projection et nécessitant des couches de mortier allant jusqu'à 40mm d'épaisseur.

DOMAINES D'APPLICATION :

- Travaux d'entretien et de réparation des ports et tous domaines maritimes,
- Travaux d'entretien d'industries mécaniques, notamment dans des ambiances contenant des huiles minérales, lubrifiants, etc....
- Protection du béton contre les eaux agressives contenant des sulfates, sulfites, chlorures, etc...
- Réparation d'éléments endommagés,
- Réparation d'éléments soumis à des sollicitations répétées,
- Réparation d'éléments de structure (poutres en béton armé ou précontraints sous charges normales ou excentrées),
- Réparation de surface horizontale (tabliers de ponts, chapes, dallages, etc.),
- Travaux d'entretien et de réparation en milieu agricole (élevage d'animaux etc...).

AVANTAGE :

- Mortier à retrait compensé – réduit le risque de fissuration et assure un contact permanent avec le béton pour une transmission continue des charges dans le cas des travaux de restructuration,
- Aucun primaire n'est nécessaire,
- Permet une application rapide à moindre coût,
- Applicable par projection- pour une application rapide en grandes quantités,
- Très grande imperméabilité- permettant au produit de résister efficacement à l'action des sulfates et des eaux agressives.

PROPRIETES :

Résistance à la compression (éprouvettes cubiques de 100mm) ; résistance à la flexion (éprouvettes 40×40×160mm) : voir **fig.1**.

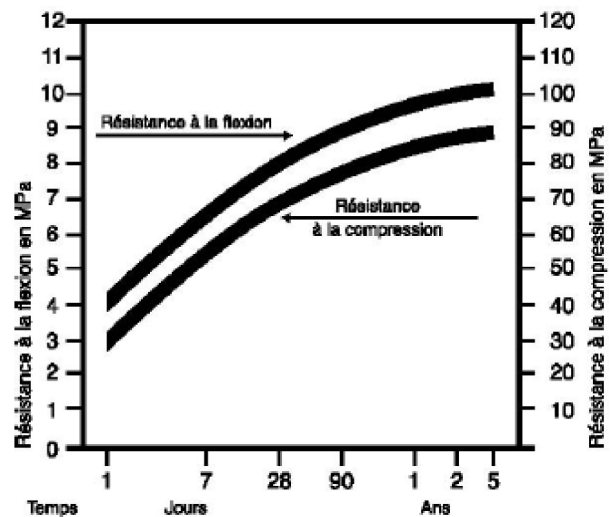


fig.1 : Résistances moyennes types de **MasterEmaco[®] S 488** à + 20° C mélangé avec 15 % d'eau.

MasterEmaco[®] S 488

(Anciennement EMACO S 88)

- Module d'élasticité : 25.000 MPa à 7 jours et 30.000 MPa à 28 jours,
- Adhérence au béton (pull of test): (Norme P 18-858) > 2MPa,
- Adhérence à l'acier (RILEM – CNR – UNI 10020) : respectivement 3 à 4 MPa à 7 et 28 jours sur barres lisses ; respectivement 20 à 30 MPa à 7 et 28 jours sur barres crénelées,
- Résistance aux cycles gel/dégel (ASTM C666-UNI7087) : après 300 cycles se situant entre – 20°C et + 6°C, diminution de 5% du module d'élasticité,
- -Résistance aux sulfates : aucune dégradation n'est observée après une attaque au sulfate de magnésium (selon la norme ASTM C-88 pour des mortiers curés pendant 7 jours),
- -Résistance aux huiles minérales : aucune dégradation n'est observée après immersion dans l'huile à + 40° C pendant 60 jours,
- Début de prise : 4 h 15 ; fin de prise : 6 h 30.

CONDITIONNEMENT :

MasterEmaco[®] S 488 est disponible en sac de 25 kg.

CARACTÉRISTIQUES* :

Aspect	Poudre grise
Masse volumique	env. 2300 kg/m ³
Résistance à la compression à 20°C (BS 1881: Part 116)	> 25 MPa à 1 jour > 70 MPa à 28 jours
Résistance à la traction (BS 1881: Part 117)	3,6 MPa à 28 jours
Résistivité	approx 12500 Ωcm
Pénétration de l'eau (DIN 1048 : Part 5)	< 5 mm
Granulométrie (MA 101)	0 – 1,6 mm

MODE D'EMPLOI :

Préparation du béton ou de la maçonnerie devant être resurfacé :

Enlever le béton ou le mortier endommagé et la laitance ; rendre la surface rugueuse à l'aide d'un burin ou d'un scarificateur. La scarification doit être assez profonde pour avoir une couche de mortier d'au moins 10mm d'épaisseur.

Les arêtes de saignée ou fissures doivent être coupées verticalement à une profondeur d'au moins 10mm. Cette opération est très importante car LE **MasterEmaco[®] S 488** nécessite une surface rugueuse pour adhérer.

Le sablage des armatures n'est pas suffisant pour rendre la surface en béton rugueuse comme cela est recommandé pour une bonne application de **MasterEmaco[®] S 488**. De plus :

- a) Enlever la rouille des armatures ou mettre de nouvelles barres d'armature si les anciennes ne sont pas fiables,
- b) Suivant les conditions d'utilisation, une protection galvanisée des armatures peut être apportée par l'utilisation d'un primaire **type MasterSeal[®] 1810**,
- c) En cas de perte d'eau ou d'infiltration de la surface, celle-ci doit être arrêtée par drainage,
- d) Nettoyer la surface pour enlever la graisse, l'huile ou les tâches de peinture, la chaux, la poussière.

POSITIONNEMENT DES ARMATURES :

Si le revêtement doit avoir une épaisseur de plus de 20mm, fixer un treillis soudé au béton à traiter, en laissant des espaces entre les mailles et la surface. Les recouvrements successifs de MasterEmaco S 488 sur les armatures doivent être d'au moins 10 mm. Si l'épaisseur doit être inférieure à 20 mm, aucune armature n'est nécessaire mais s'assurer que la surface a bien été rendue rugueuse par des stries de 5 mm de profondeur afin d'obtenir la contrainte nécessaire à l'expansion du mortier.

SATURATION D'EAU :

Après la mise en place du ferrailage, saturer d'eau le béton ou la maçonnerie à réparer pendant au moins 6 heures avant l'application du mortier.

Éliminer l'excès d'eau, s'il y en a, à l'aide d'air comprimé ou de chiffons.

PRÉPARATION DU MORTIER :

Pour un mélange correct du mortier **MasterEmaco[®] S 488**, les instructions suivantes sont recommandées :

MasterEmaco[®] S 488

(Anciennement EMACO S 88)

- Vérifier que les mesures préliminaires ont été prises concernant la préparation de la structure à réparer,
- Verser la quantité minimum d'eau de gâchage de 3,5 litres dans le malaxeur. Démarrer le malaxeur et ajouter le **MasterEmaco[®] S 488** rapidement et continuellement,
- Malaxer le mélange 3 à 4 minutes après que tout **MasterEmaco[®] S 488** ait été ajouté et jusqu'à ce que le mortier soit bien mélangé et sans grumeau,
- Ajouter de l'eau, si nécessaire, jusqu'à ce que la consistance requise soit obtenue et malaxer à nouveau 2 à 3 minutes. La teneur en eau peut varier légèrement en fonction de la température ambiante et de l'humidité relative.

MISE EN PLACE DU MORTIER :

Après avoir mélangé le **MasterEmaco[®] S 488** avec de l'eau, le mortier peut être projeté ou appliqué à la truelle.

La finition est obtenue en lissant la surface avec une règle en bois, en plastique ou une éponge synthétique.

Le **MasterEmaco[®] S 488**, même sans protection de finition, ne fissurera pas grâce à son retrait plastique contrairement aux mortiers qui sont mal protégés pendant les premières 24 heures.

Dans des ambiances particulièrement sèches et ventées, le **MasterEmaco[®] S 488** nécessitera une cure adéquate à l'eau ou l'application d'un produit de cure pour éviter l'évaporation.

RECOMMANDATIONS :

Ne pas utiliser le mortier **MasterEmaco S 488**:

-Pour des calages de précision.

-Au contact d'eau dont le pH est inférieur à 5,5 ou de température supérieure à + 35°C.

-Si la température ambiante n'est pas comprise entre + 5°C et + 50°C.

RENDEMENT VOLUMIQUE :

Un sac de 25 kg de **MasterEmaco[®] S 488** mélangé à 4 litres d'eau donne environ 12,6 litres de mortier.

DOSAGE EN EAU :

Le dosage en eau pour l'application à la truelle ou par projection est de 3,5 à 4,4 litres par sac de 25kg.

STOCKAGE :

Le **MasterEmaco[®] S 488** doit être stocké dans un endroit sec et abrité en évitant le tassement excessif des sacs.

Le produit a une durée de vie de 12 mois dans son emballage d'origine, à compter de la date de fabrication, hors intempéries.

RAPPORT DE QUALITE :

Tous les produits élaborés par BASF ou importés par les sociétés filiales de BASF à travers le monde, sont certifiés conformes aux exigences des systèmes de gestion de qualité et d'environnement ISO 9001, ISO 14001 et OHSAS 18001.

01/2015 BASF_CC-ALGERIA

* Les propriétés inscrites sont basées sur des tests de laboratoire contrôlé.

® = Marque déposée de BASF-groupe dans de nombreux pays.

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

BASF Construction Chemicals Algérie SARL

Zone Industrielle Baba Ali Dist 5, Ilot 3.

Saoula 16305

Alger Algérie

Téléphone + 213 21 30 95 09

Fax +213 21 30 95 19

MEDAFLOW 30

Conforme à la norme EN 934-2: TAB 1, TAB 3.1
ET TAB 3.2 NA 774.

**Super plastifiant
Haut réducteur d'eau**

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

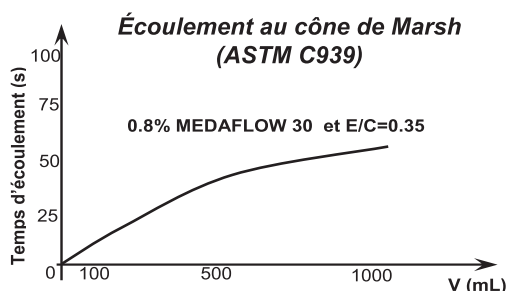
DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :
Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect Liquide
- Couleur Brun clair
- pH 6 – 6,5
- Densité 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

MEDAFLOW 30

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubitenaire 1100kg.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$).

Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Avril 2005.

NB : Les produits à base de polycarboxylates d'Ether (PCE), exposé aux UV, changent dans la couleur mais sans aucun incident sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Granitex

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com



SIKA MONOTOP 650

Mortier de réparation prêt à gâcher

Mortier de classe R3 selon la norme EN NF1504-3

Présentation	Le SIKA MONOTOP 650 est un mortier monocomposant à base de ciment, charges spéciales et adjuvants. Après gâchage à l'eau, on obtient un mortier de réparation de couleur gris clair.
Domaines d'application	<ul style="list-style-type: none"> ■ Réparation des bétons ■ Resurfaçage des bétons avant application de peintures ■ Bourrage des joints de prédalle
Caractères généraux	<ul style="list-style-type: none"> ■ S'applique de 4 à 50 mm d'épaisseur en une seule passe. ■ Présente un aspect fini « prêt à peindre » après 24 heures à 20°C. ■ Adhère parfaitement sur la plupart des supports (béton, mortier, pierre, brique).
Agréments, essais officiels	<ul style="list-style-type: none"> ■ PV CNERIB :DTEM /79/2013.
Caractéristiques	
Coloris	Gris clair
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> ■ Sac de 25 kg
Stockage	Le produit doit être stocké à l'abri de l'humidité.
Conservation	6 mois en emballage intact et non entamé.
Données techniques	
densité	Densité de la poudre non tassée : environ 1,3 Densité du mortier frais : environ 2,1.
Granulométrie	0 à 1,6 mm
Epaisseur par couche	S'applique en vertical de 4 à 50 mm d'épaisseur en une seule passe.

Résistances mécaniques	■ Résistance à la compression (Norme EN NF 12190) 20°C			
	2 jours	20-25 MPa		
	7 jours	30-35 MPa		
	28 jours	40-45 MPa		
	■ Résistance à la flexion (Norme EN 12190) 20°C			
	2 jours	5-6 MPa		
7 jours	6-7 MPa			
28 jours	7-8 MPa			
Adhérence	Adhérence sur béton (NF P 1542) : > 1.5 MPa sur surface rugueuse.			
Temps de prise	Selon la norme NF P 18-356			
		à 5°C	à 20°C	à 30°C
	Début de prise	5 h à 7 h	3 h à 4 h	2 h à 3 h
	Fin de prise	8 h à 10 h	5 h à 6 h	4 h à 5 h
Conditions d'application				
Consommation	Un sac de 25 kg gâché avec 2.9 à 3 litres d'eau donne environ 13,4 litres de mortier, ce qui correspond à une consommation de 1,8 kg de SIKA MONOTOP 650 par m ² et mm d'épaisseur.			
Qualité du support	Le support doit avoir 28 jours et présenter une cohésion d'au moins 1 MPa en traction directe.			
Préparation du support	Préparer le support pour qu'il soit sain, cohésif, débarrassé de toute partie non adhérente, exempt d'huile et de graisse, ... Brosser et débarrasser les aciers de toute particule de rouille puis les protéger à l'aide de l'inhibiteur de corrosion SIKA MONOTOP 910 N (notice technique n° 3160) Humidifier abondamment le support avant la mise en œuvre du SIKA MONOTOP 650 .			
Mise en œuvre				
Conditions d'utilisation	De 5 à 30°C			
Préparation du mélange	Gâcher le SIKA MONOTOP 650 à consistance adaptée. A titre indicatif la quantité d'eau de gâchage est d'environ 3 litres pour 25 kg de poudre. Un malaxage mécanique est toujours préférable pour l'obtention d'un mortier homogène.			
Nettoyage des outils	A l'eau immédiatement après usage.			
Mise en œuvre	Appliquer le SIKA MONOTOP 650 à la truelle ou par projection sur le support humide mais non ruisselant. Veiller à ce que ce dernier soit débarrassé de tout film ou flaque d'eau en surface lors de l'application. En vertical, il est possible d'appliquer jusqu'à 50 mm par passe. La finition s'effectue à la taloche plastique, éponge ou polystyrène dès que le mortier commence à tirer. L'application par projection en voie humide peut se faire par exemple avec le Projex Sablon S3, Turbosol T 6, PFT G4, Putzmeister SP 5, Wagner PC 35.			
Durée Pratique d'Utilisation	Pour 12,5 kg.			
	A 5°C	à 20°C	à 30°C	
	45 à 55 minutes	30 à 40 minutes	10 à 20 minutes	

Durcissement

Traitement de cure

Comme tout mortier hydraulique, le SIKA MONOTOP 650 doit être protégé du gel, du vent et du soleil pendant la prise et le durcissement.

Précautions d'emploi

Manipulation analogue à celle d'un mortier de ciment.
Consulter la fiche de données de sécurité.

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel

Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.

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



Sika El Djazair
08 route de l'Arbaa, 16111 Eucalyptus
Alger/ ALGERIE
Web : dza.sika.com

Tel.: 213 (0) 21 50 21 84
213 (0) 21 50 16 92 à 95
Fax: 213 (0) 21 50 22 08

