



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITÉ AMAR TELIDJI DE LAGHOuat

Faculté de Génie Civil et d'Architecture

Département de Génie Civil

MEMOIRE DE MASTER

Domaine : Science et Technologie

Filière : Génie Civil

Option : Matériaux en Génie civil

Thème

**Influence des sables locaux sur les propriétés physico-mécaniques
et durabilité des mortiers modifiés au polymère**

Présenté par : **Toaiba Mohammed Lamine**

Soutenu le 27/06/2024, devant le jury composé de :

Mme BENDJILLALI Khadra	Professeur, Université de Laghouat	Présidente
Mme DJOUDI Amina	MCA, Université de Laghouat	Examinatrice
Mr MAKHLOUFI Zoubir	Professeur, Université de Laghouat	Directeur de mémoire
Mr BERKAK Hichem	Docteur, Université de Laghouat	Co-directeur de mémoire

Année universitaire 2023 / 2024



Tout d'abord, je tiens à remercier Allah, le clément et le miséricordieux, de m'avoir donné la santé et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Ce travail a été dirigé par Messieurs **Pr. MAKHLOUFI Zoubir** et Dr. **BERKAK Hichem** enseignants à l'Université de Laghouat. Leur guidance a été marquée par des conseils judicieux et des observations pertinentes tout au long de cette année de travail. Je tiens à exprimer ma gratitude la plus sincère envers eux.

Je souhaite remercier Mesdames Pr. **BENDJILLALI Khadra** et Dr. **DJOUDI Amina** qui ont accepté d'être rapporteurs de mon projet de fin d'étude de Master.

Je remercie **Pr. BENDJILLALI Khadra** de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de mon mémoire.

Je tiens à exprimer mes remerciements à tous les membres du Laboratoire de Génie Civil de l'Université de Laghouat, du LCTP de Djelfa, les chercheurs, techniciens et personnels administratifs qui m'ont accueilli dans leurs établissements et avec qui j'ai eu le plaisir de travailler.

∞ Dédicaces ∞

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect a :

- ❖ *Ma mère Fatma ;*
- ❖ *Ma femme et mon fils Hodaifa Abdelmouhaimen ;*
- ❖ *Mes frères et sœurs ;*
- ❖ *Toute ma famille ;*
- ❖ *Mes amis ;*
- ❖ *Tous ceux qui m'ont soutenu directement ou indirectement.*

Mohammed Lamine

Résumé

L'objectif principal de cette étude de recherche est d'étudier l'effet des différents types de sables locaux, notamment le sable calcaire concassé (SC) et le sable de dune (SD), sur la maniabilité, la densité, les propriétés mécaniques et la durabilité des mortiers modifiés avec un polymère latex. Les résultats ont montré que l'incorporation de sable de dune et de polymère latex dans les mélanges de mortiers permet d'optimiser leurs propriétés physiques et mécaniques, tout en améliorant leur durabilité. Le mélange de mortier modifié au polymère 4, avec 30% de SD et un rapport Polymère/Ciment = 5%, s'est avéré être le mortier optimal en termes des propriétés étudiées.

Mots clés : *Sables locaux, Propriétés physico-mécaniques, Durabilité, Mortier modifié au polymère, polymère latex.*

Table des matières

REMERCIEMENTS	I
Dédicaces	II
Résumé	III
Liste des figures.....	VII
Liste des Tableaux.....	IX
Liste des notations et abréviations.....	X
Introduction générale	1

CHAPITRE 1 : Synthèse bibliographique

I. Introduction	5
II. Historique de mortier ou béton modifié au polymère (PMM ou PMC).....	5
III. Classification et types des polymères	7
IV. Polymères dans les mortiers ou bétons	9
V. Caractéristiques des mortiers ou béton modifiés aux polymères	10
V.1. Caractéristiques des PMMs et PMCs à l'état frais	10
V.1.1. Maniabilité.....	10
V.1.2. Densité fraîche	17
V.2. Propriétés mécaniques des PMMs et PMCs à l'état durci.....	19
V.3. Durabilité des PMMs et PMCs.....	22
V.3.1. Absorption d'eau par immersion totale	22
V.3.2. Absorption capillaire d'eau (sorptivité)	25
V.3.3. Accessibilité à l'eau.....	26
VI. Domaines d'applications des mortiers modifiés aux polymères	27
VII. Conclusion	29

CHAPITRE 2 : Matériaux utilisés et procédures expérimentales

I. Introduction	32
II. Matériaux utilisés	32
II.1. Ciment	32
II.2. Polymère latex SIKA.....	33

II.3. Sables utilisés	34
II.3.1. Sable Calcaire concassé (SC)	34
II.3.2. Sable de Dune (SD)	34
II.3.3. Caractérisation physique des sables utilisés	35
II.4. Eau de gâchage	40
II.5. Adjuvant	40
III. Formulation des mortiers étudiés.....	41
III.1. Optimisation des mélanges.....	41
III.2. Composition des mortiers.....	41
III.3.Procédures de malaxage	42
III.4. Modes de cure.....	43
IV. Méthodes d’essais.....	44
IV.1. Essais sur mortiers à l’état frais.....	44
IV.1.1. Maniabilité.....	44
IV.1.2. Masse volumique à l’état frais.....	45
IV.2. Essais sur mortiers à l’état durci.....	45
IV.3. Essai de la durabilité.....	48
V. Conclusion.....	51

CHAPITRE 3 : Analyse et discussion des résultats

I. Introduction	54
II. Propriétés des mortiers étudiés à l’état frais	54
II.1. Maniabilité	54
II.2. Masse volumique à l’état frais	55
III. Propriétés des mortiers à l’état durci	56
III.1. Masse volumique apparente	56
III.2. Propriétés mécaniques des mortiers étudiés	58
III.2.1. Résistance à la traction par flexion.....	59
III.2.2. Résistance à la compression	61
IV. Influence des sables locaux sur la durabilité des mortiers testés	63
IV.1. Absorption totale par immersion des mortiers à 28 jours.....	63
IV.2. Absorption capillaire d’eau (sorptivité).....	64
IV.3. Porosité des mortiers étudiés à 28 jours	65
V. Conclusion.....	66

Conclusion générale.....	69
Références bibliographiques	72

Liste des figures

Figure	Titre	Page
CHAPITRE 1		
Figure I.1	Système de classification des C-PC et M-PC	8
Figure I.2	Valeurs d'affaissement des PMCs et du béton de ciment	10
Figure I.3	Relation entre les rapports E/C et P/C à maniabilité constante	11
Figure I.4	Influence des polymères époxy et acrylique sur le rapport E/C pour un écoulement constant	12
Figure I.5	Variation du rapport E/C en fonction du rapport P/C des PMMs	12
Figure I.6	Effet du SBR sur la fluidité de la pâte et du mortier de ciment	13
Figure I.7	Effet des latex SBR et SAR sur la consistance de mortier de ciment : (a) à E/C constant; (b) à maniabilité constante	14
Figure I.8	Photographies d'étalement des mortiers à un rapport E/C constant	14
Figure I.9	Relation entre la réduction de l'eau et la proportion de superplastifiant	15
Figure I.10	Densité apparente des PMMs frais	16
Figure I.11	Impact des latex SAR et SBR sur la densité fraîche et l'entraînement de l'air des mortiers	17
Figure I.12	Effet de la dose d'irradiation γ sur la résistance à la compression du mortier modifié au latex SBR	19
Figure I.13	Lois de variation de la résistance à la compression et à la flexion des mortiers de ciment modifiés PSEHAMA et PSBAMA avec le rapport polymère-ciment à 7 et 28 jours	20
Figure I.14	Effet des polymères sur l'absorption d'eau des mortiers	22
Figure I.15	Variation d'absorption d'eau des PMMs en fonction de la méthode de formulation et du rapport P/C	23
Figure I.16	Effet de l'addition du latex SPA sur l'absorption d'eau des mortiers	23
Figure I.17	Relation entre l'absorption capillaire d'eau cumulée des mortiers et la racine carrée du temps	24
Figure I.18	Exemple d'utilisation de mortier modifié aux polymères dans construction et réparation de béton	26
Figure I.19	Exemple d'utilisation de mortier modifié aux polymères dans murs	27
Figure I.20	Exemple de travaux de réparation et de restauration historique	27
Figure I.21	Exemple de travaux de réparation et jointoiement	28
CHAPITRE 2		
Figure II. 1	Apparence de sac du ciment utilisé.	31
Figure II. 2	Apparence générale du latex SIKA	32
Figure II. 3	Site d'extraction de sable calcaire	33

Figure II. 4	Apparence générale du sable calcaire dans site	33
Figure II. 5	Site d'extraction de sable de dune	34
Figure II. 6	Apparence générale du sable de dune dans site	34
Figure II. 7	Distribution granulaire du sable calcaire concassé	35
Figure II. 8	Distribution granulaire du sable de dune	35
Figure II. 9	Essai d'équivalent de sable	38
Figure II.10	Superplastifiant SikaViscoCreteTEMPO-12	39
Figure II.11	Protocole de malaxage du mortier modifié au polymère latex SIKA	42
Figure II.12	Maniabilité LCL	43
Figure II.13	Principe de fonctionnement du maniabilité LCL (B)	44
Figure II.14	a) Appareil utilisé pour les essais mécaniques ; b) Dispositif expérimental de mesure de la résistance à la traction par flexion; c) Schéma de la détermination de résistance à la traction par flexion	45
Figure II.15	a) Dispositif expérimental de mesure de la résistance à la compression; b) Schéma de détermination de la résistance à la compression	46
Figure II.16	Principe d'essai de l'absorption capillaire (sorptivité)	48
Figure II.17	Essai de l'absorption capillaire (sorptivité)	48
Figure II.18	Essai de Porosité accessible à l'eau et pesée hydrostatique dans laboratoire LCTP DJELFA	49
CHAPITRE 3		
Figure III.1	Variation du temps d'écoulement en fonction des mélanges mortiers	52
Figure III.2	Influence des sables locaux et du polymère latex sur la masse volumique des mortiers à l'état frais	53
Figure III.3	Variation des masses volumiques à l'état durci en fonction de temps	55
Figure III.4	Masse volumique à l'état durci des mortiers testés à 28 jours	56
Figure III.5	Résistance à la traction par flexion des mortiers étudiés en fonction de temps	57
Figure III.6	Résistance à la traction par flexion des mortiers étudiés à 28 jours	59
Figure III.7	Résistance à la compression des mortiers étudiés en fonction de temps	59
Figure III.8	Résistance à la compression des mortiers étudiés à 28 jours	61
Figure III.9	Effet de l'addition du sables locaux et du latex sur l'absorption d'eau des mortiers	62
Figure III.10	Évolution de l'absorption d'eau par capillarité en fonction la racine carrée du temps pour des mortiers étudiés	63
Figure III.11	L'impact de l'addition des sables locaux et du latex sur porosité des mortiers	64

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
CHAPITRE 1		
Tableau I.1	Types de polymères pour matériaux modifiés à base de ciment	7
Tableau I.2	Propriétés types des bétons	9
Tableau I.3	Effet des latex de SBR et SA sur le rapport E/C et la consistance des mortiers	10
Tableau I.4	Densité des pâtes modifiées par latex SBR	16
Tableau I.5	Récapitulatif de certaines contributions à l'étude de la résistance à la compression des PMMs	20
Tableau I.6	Récapitulatif de certaines contributions à l'étude de la résistance à la flexion des PMMs	21
Tableau I.7	Coefficient de sorptivité des mortiers étudiés	25
CHAPITRE 2		
Tableau II.1	Propriétés chimiques et physico-mécaniques du ciment utilisé	32
Tableau II.2	module de finesse (Mf) des sables étudiés	36
Tableau II.3	Classement du sable	36
Tableau II.4	Masses volumiques des sables étudiés	36
Tableau II.5	Résultats de la compacité et la porosité des sables étudiés	37
Tableau II.6	Résultats d'équivalent visuel et au piston des sables étudiés	38
Tableau II.7	Résultats du coefficient d'absorption des sables étudiés	39
Tableau II.8	Compositions en masse des mortiers étudiés	41
Tableau II.9	Conditions de cure du PMM et du mortier à base de ciment	42
CHAPITRE 3		
Tableau III.1	Résistances mécaniques des mortiers étudiés	57
Tableau III.2	Coefficient de sorptivité des mortiers étudiés	63

Liste des notations et abréviations

ASPIC	Asian Symposium on Polymers in Concrete.
C/S	Rapport massique « Ciment / Sable ».
C₃A	Aluminate tricalcique.
C-PC	Composites béton-polymère (Concrete-Polymer composites <i>en anglais</i>).
CPO	Ciment Portland ordinaire.
E/(P+C)	Rapport massique « Eau / (Polymère+Ciment) ».
E/C	Rapport massique « Eau / Ciment ».
E/L	Rapport massique « Eau / Liant ».
ES	Equivalent de sable.
EVA	Poly (éthylène/acétate de vinyle).
HR	Humidité relative.
ICPC	International Congress on Polymers in Concrete.
IUPAC	International Union of Pure and Applied Chemistry.
LMC	Béton modifié au latex (Latex modified concrete <i>en anglais</i>).
LMM	Mortier modifié au latex (Latex modified mortar <i>en anglais</i>).
MF	Module de finesse.
M-PC	Composites mortier-polymère (Mortar-polymer composites <i>en anglais</i>).
P/C	Rapport massique « Polymère / Ciment ».
P/L	Rapport massique « Polymère / Liant ».
PA	Polyacrylate.
PAE	Ester-polyacrylique.
PC	Béton de polymère (Polymer concrete <i>en anglais</i>).
PIC	Béton imprégné par polymère (Polymer impregnated concrete <i>en anglais</i>).
PIM	Mortier imprégné par polymère (Polymer impregnated mortar <i>en anglais</i>).
PM	Mortier de polymère (Polymer mortar <i>en anglais</i>).
PMC	Béton modifié au polymère (Polymer modified concrete <i>en anglais</i>).
PMM	Mortier modifié au polymère (Polymer modified mortar <i>en anglais</i>).
PPCC	Béton de ciment Portland – polymère (Polymer Portland cement concrete <i>en anglais</i>).
PPCM	Mortier de ciment Portland – polymère (Polymer Portland cement mortar <i>en anglais</i>).
PVA	Alcool polyvinylique (Poly(vinyl alcohol) <i>en anglais</i>).
R_c	Résistance à la compression.
RDPs	Poudres de polymère redispersables (Redispersible polymer powders <i>en anglais</i>).
R_f	Résistance à la flexion.
S	Coefficient de sorptivité.
SA	Styrène – acrylique.
SAN	Styrène – acrylonitrile.
SBR	Poly (Styrène – butadiène).
SC	Sable calcaire.
SD	Sable de dune.
SiO₂	Dioxyde de silicium, quartz ou cristobalite.
Sp	Superplastifiant.
SPA	Latex styrène – polyacrylique.
VA/VeoVa	Acétate de vinyle / acétate versatate.
WA₂₄	Coefficient d'absorption d'eau à 24h (Water absorption at 24 h <i>en anglais</i>).

Introduction générale

Introduction générale

Dans le domaine du génie civil, l'amélioration des propriétés des matériaux de construction est une préoccupation constante. Les matériaux cimentaires traditionnels, tels que les bétons et les mortiers, bien que largement utilisés, présentent des limites en termes de performances mécaniques et de durabilité dues à leur nature fragile et poreuse par rapport d'autres bétons et mortiers améliorés. Ces limitations conduisent souvent à des coûts élevés de réparation et de maintenance des structures.

Les polymères organiques, lorsqu'ils sont intégrés aux mélanges cimentaires, offrent une solution potentielle pour améliorer les performances des matériaux. L'ajout de polymères peut augmenter la maniabilité, améliorer la densité, et renforcer la durabilité des mortiers et des bétons. Cependant, l'effet des polymères peut varier en fonction des types de sables utilisés comme agrégats dans les mélanges.

Ce mémoire se concentre sur l'étude de l'influence des sables locaux largement disponibles dans la région de Laghouat en Algérie, notamment le sable calcaire concassé et le sable de dune, sur les propriétés des mortiers modifiés au polymère. Le polymère utilisé dans cette étude est un polymère latex disponible sur le marché algérien.

L'objectif de ce travail est de comprendre comment les différents types de sables locaux, en combinaison avec le polymère latex, affectent les propriétés physico-mécaniques et la durabilité des mortiers. Les aspects étudiés incluent la maniabilité des mélanges à l'état frais, la densité apparente, la résistance à la compression et à la flexion, ainsi que l'absorption d'eau des mélanges à l'état durci. Cette étude vise à fournir des recommandations pour l'utilisation optimale des sables locaux dans la fabrication de mortiers modifiés, afin de répondre aux exigences des projets de construction et de réparation dans des conditions climatiques et environnementales spécifiques à l'Algérie.

En outre, ce mémoire offre une contribution significative à l'amélioration des matériaux de construction locaux, en proposant des solutions pour augmenter la durabilité et la performance des mortiers modifiés, tout en utilisant des ressources locales disponibles.

Ce mémoire étudie l'influence des sables locaux sur les propriétés physico-mécaniques et la durabilité du mortier modifié au polymère. Elle est structurée en trois chapitres principaux. Le premier chapitre, "Synthèse Bibliographique", passe en revue la littérature existante et identifie les lacunes de recherche. Le deuxième chapitre, "Matériaux Utilisés et Procédures Expérimentales", décrit les matériaux et méthodes utilisés pour les expériences. Le troisième chapitre, "Analyse et discussions des résultats",

présente l'analyse des données et relie les résultats au cadre théorique, en proposant des recommandations basées sur les conclusions de l'étude.

CHAPITRE 1 : Synthèse bibliographique

I. Introduction

Dans les secteurs de la construction à travers le monde, le béton conventionnel tend à souffrir généralement d'un potentiel de fissuration élevé et de risques de corrosion en raison de sa nature quasi-fragile et poreuse. Le béton endommagé est soumis à des coûts élevés associés aux travaux de réparation et de maintenance. Compte tenu de la durabilité à long terme et des implications de coût, les polymères organiques présentent une grande attention en tant que matériaux de résolution de problèmes qui améliorent les propriétés de résistance et la durabilité des matériaux cimentaires classiques contre les milieux agressifs [Guo et al., 2017 ; Wang et al., 2014]. Malgré un coût initial légèrement plus élevé que le béton conventionnel, les composites polymère-béton Offrent une durabilité accrue et peuvent être plus rentables à long terme en réduisant les activités de réparation et d'entretien.

Pour améliorer les propriétés des matériaux cimentaires, les polymères sont largement utilisés comme modificateurs pour les mortiers et les bétons, offrant des avantages écologiques et économiques. Ils améliorent considérablement les performances des matériaux à base de ciment, en ajustant leurs propriétés rhéologiques, physiques et mécaniques et leur durabilité.

Ce chapitre vise à présenter les mortiers et les bétons à base de polymères, les différents adjuvants polymériques utilisés et leurs propriétés, ainsi que les domaines d'application de ces composites dans le domaine de génie civil.

II. Historique de mortier ou béton modifié au polymère (PMM ou PMC)

Le béton ou mortier modifié au polymère (PMC ou PMM) consiste à incorporer une petite quantité de polymère (jusqu'à 25 % en poids du liant) dans le mélange frais du béton ou mortier de ciment Portland ordinaire (CPO) [Frigione, 2013]. Le PMM est également appelé « béton de ciment Portland-polymère » (PPCC) ou « mortier de ciment Portland-polymère » (PPCM) [Abd_Elmoaty, 2011 ; Chen et al., 2006 ; Emiroglu et al., 2017]. Lorsqu'un latex est utilisé, il est désigné comme « béton et mortier modifié au latex » [Kardon, 1997]. En termes simples, le PMC est un mélange de ciment Portland et d'agréats, auquel des polymères organiques dispersés ou redispersés dans l'eau sont ajoutés lors du mélange [ACI 548.3R, 2003].

L'histoire de la recherche sur les PMC et PMM remonte à 1909 aux États-Unis, avec les premiers brevets pour l'utilisation de polymères dans les bétons de CPO [Ohama, 2011]. Dans les années 1920 et 1930, des mortiers et bétons modifiés avec des latex de caoutchouc naturel ont été développés, suivis par l'utilisation de latex de caoutchouc synthétique dans les années 1930 [Islam et al., 2011]. Depuis les années 1960, les polymères synthétiques ont été largement utilisés dans les PMCs et

PMMs suscitant un intérêt croissant dans plusieurs pays [Islam et al., 2011; Ohama, 1995].

Entre 1970 et 1990, les efforts de recherche se sont focalisés sur l'évaluation des propriétés des PMCs et PMMs, ainsi que sur la sélection des polymères les plus appropriés pour améliorer ces propriétés [Akihama et al., 1973 ; Bentur, 1982 ; Lewis et Lewis, 1990]. Durant cette période, l'identification du mécanisme d'interaction des polymères avec les produits d'hydratation du ciment Portland et l'étude de la formation de la co-matrice ciment-polymère ont été, et demeurent, des sujets de grand intérêt [Afridi et al., 1989 ; Chandra et Flodin, 1987 ; Larbi et Bijen, 1990]. Les recherches ultérieures se sont penchées sur le comportement à long terme des PMCs et PMMs, en mettant l'accent sur la durabilité et la résistance à la détérioration [Beeldens et al., 2001 ; Rossignolo et Agnesini, 2004 ; Shaker et al., 1997], ainsi que sur les propriétés rhéologiques de ces matériaux [Lu et al., 2017 ; Sun et al., 2019 ; Zhou et al., 2019].

Le Congrès international sur les polymères dans le béton (International Congress on Polymers in Concrete, ICPC) est un événement triennal important qui, depuis 1975, offre un aperçu des nouvelles tendances en matière de recherche et de développement technologique des C-PC, y compris les PMMs et PMCs. Ce congrès traite également les défis critiques et les solutions efficaces pour l'utilisation de ces matériaux. Il sert de plateforme pour les fournisseurs, fabricants et entrepreneurs du monde entier intéressés par les C-PC, leur permettant de développer de nouvelles opportunités commerciales et de suivre les derniers développements dans ce domaine. Les éditions de l'ICPC se sont tenues successivement à Londres (1975), Austin (1978), Koriyama (1981), Darmstadt (1984), Brighton (1987), Shanghai (1990), Moscou (1992), Oostende (1995), Bologne (1998), Honolulu (2001), Berlin (2004), Chuncheon (2007), Funchal (2010), Shanghai (2013), Singapour (2015) et Washington (2018) [Taha, 2018].

D'autres conférences continentales, telles que le Symposium asiatique sur les polymères dans le béton (Asian Symposium on Polymers in Concrete, ASPIC) et la Conférence sud-africaine sur les polymères dans le béton (Southern African Conference on Polymers in Concrete), se concentrent également sur ce sujet. De nombreuses publications, y compris des articles, des rapports, des livres et des normes, ont été publiées sur les C-PC, témoignant d'une dynamique remarquable et d'une source inépuisable de nouvelles idées dans ce domaine.

Les additifs polymères utilisés comme modificateurs pour les PMCs et PMMs peuvent être sous forme des latex, des poudres redispersables, des polymères solubles dans l'eau ou des polymères liquides [Ohama, 1998]. Même les monomères peuvent de modificateurs, à condition que la polymérisation et la formation du film se déroulent correctement [Nabavi et al., 2013 ; Ohama,

1995]. Le choix du polymère dépend principalement de l'utilisation envisagée et des exigences de performance telles que la résistance mécanique, la durabilité et la résistance chimique [Pomeroy, 1976 ; Rattanaveeranon et al., 2019].

III. Classification et types des polymères

Les termes "latex", "dispersion de polymère", "polymère en émulsion" et "émulsion" sont utilisés de manière interchangeable [Yılmaz, 2013]. L'IUPAC recommande l'utilisation des termes "latex" ou "dispersion de polymère" [Slomkowski et al., 2011]. Les latex de synthèse, développés dans les années 1930, trouvent une large application dans divers domaines [Dhaini, 2014].

Un polymère latex est une dispersion colloïdale de petites particules de polymère (0,05-5 μm de diamètre) dans un milieu aqueux, généralement de l'eau. Ces dispersions sont thermodynamiquement instables en raison d'une énergie interfaciale élevée, ce qui entraîne une tendance à la coagulation pour minimiser l'énergie. La désémulsification, ou séparation des dispersions de polymères, est stabilisée par l'ajout de colloïdes protecteurs et/ou d'émulsifiants [Schirmer et Osburg, 2015]. Les latex contiennent des polymères thermoplastiques avec une teneur en solides de 35 à 55% [Göbel, 2018].

Parmi les divers types de polymères, les latex comme le SBR, l'EVA et d'autres sont largement utilisés dans les matériaux de construction [Ramakrishnan, 1992]. Ils sont sélectionnés pour leurs propriétés spécifiques, telles que la stabilité chimique, la résistance mécanique et la résistance aux intempéries [Ohama, 1998].

En plus des latex, les poudres de polymère redispersables (RDPs) sont également utilisées dans les PMMs et PMCs [Ohama, 1997]. Ces RDPs sont des polymères latex séchés par pulvérisation et peuvent être réémulsionnées dans l'eau lorsqu'ils sont mélangés avec du ciment et des agrégats [Caimi et al., 2018]. Les PMC et PMM, notamment les LMC, sont largement utilisés dans la construction en raison de leurs excellentes propriétés [Fowler, 2018b]. Depuis les années 1980, ils sont devenus populaires pour la réparation, la réhabilitation et la finition des structures [Bureau et al., 2001]. Le *tableau I.1* présente la classification des polymères utilisés comme principaux ingrédients pour les PMMs et PMCs [Heinzmann et al., 2015].

Tableau I.1. Types de polymères pour matériaux modifiés à base de ciment. [Heinzmann et al.,2015]

Classification	Polymères couramment utilisés	
Emulsion polymère	Latex de caoutchouc	Caoutchouc naturel (NR)
		Caoutchouc synthétique
		Emulsion de copolymère d'éthylène dilué et d'acétate de vinyle
	Emulsion de résine thermoplastique	Dispersion de polyacrylate
		Emulsion phenylacrylique
		Emulsion d'acétate de polypropylène
		Emulsion de copolymère chlorure de vinyle-chlorure de vinylidène
	Emulsion de résine thermodurcissable	Emulsion de résine époxy
		Emulsion de polyester insaturé
	Emulsion d'asphalte	Asphalte
		Paraffine
		Asphalte en caoutchouc
Polymère soluble dans l'eau	Mélanger l'émulsion	Polymère d'acrylate de calcium et de magnésium Méthylcellulose
	Alcool polyvinylique (PVA)	
	Polyacrylamide (PAM)	
	Alcool furfurylique	
	Acrylates	
	Dérivés celluloseux	
Polymère liquide	Une résine époxy	
	Résine polymère insaturée	
Poudres polymères redispersables	Copolymère éthylène-acétate de vinyle (EVA)	
	Ester d'acrylate de styrène (SAE)	
	Emulsion phenylpropionique	

IV. Polymères dans les mortiers ou bétons

Les matériaux à base de ciment dominent l'industrie de la construction en raison de leurs avantages techniques et économiques [Ozturk et Turan, 2012]. Cependant, ces matériaux traditionnels présentent des inconvénients, notamment une faible résistance à la traction, un retrait important et une faible résistance chimique [Ohama, 1995]. Pour remédier à ces inconvénients, l'utilisation de polymères dans les bétons et mortiers a été adoptée. Les polymères améliorent les propriétés des matériaux à base de ciment en offrant une meilleure résistance à la traction, une bonne adhérence et une résistance accrue à diverses formes de dégradation [Su, 1995].

Les composites de béton-polymère (mortier-polymère) combinent les avantages des deux matériaux, offrant des performances accrues. Ces composites, connus sous les noms de « Concrete-Polymer Composites » (C-PC) et « Mortar-Polymer Composites » (M-PC), sont issus de l'intégration de polymères modernes dans la technologie traditionnelle du béton [Ohama, 2011]. Ils se divisent en trois catégories selon la nature de la matrice et le processus de fabrication :

- le béton ou le mortier modifié par polymère (PMM ou PMC) ;
- le béton ou le mortier-polymère (PM ou PC) ;
- le béton ou le mortier imprégné par polymère (PIM ou PIC) [Ohama, 1997 ; Fowler, 1999].

La Figure I.1 montre la classification actuelle des C-PC et M-PC.

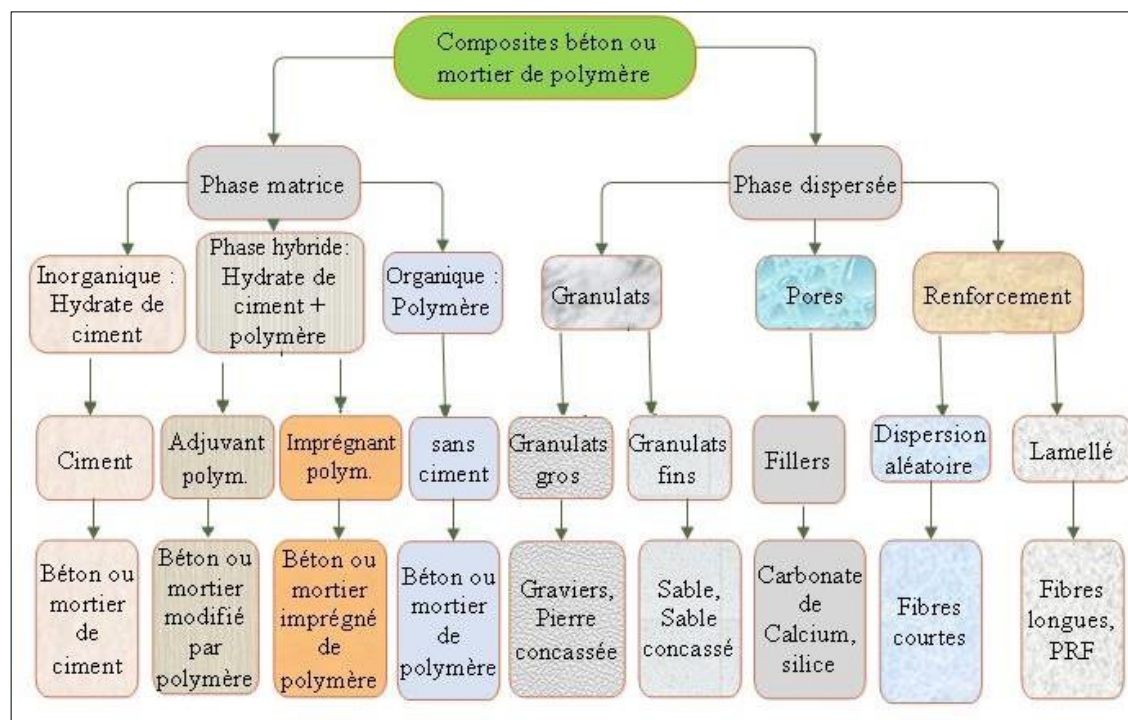


Figure I.1. Système de classification des C-PC et M-PC [Ohama,2011;Elalaoui,2012].

Selon la classification précédente, il est possible de formuler une grande variété de mélanges en fonction de la nature chimique des polymères utilisés, de leur contenu et de leur procédé de

fabrication [Czarnecki, 2007 ; Miller, 2005]. Les C-PC et C-PM, similaires aux matériaux de ciment traditionnels, comprennent généralement trois phases : une phase dispersée constituée d'agrégats et éventuellement de renforts ; une phase continue formée par la matrice liante (ciment et/ou polymère) ; et une certaine porosité, déterminée soit par la granulométrie du granulat, soit par le procédé de fabrication [Ribeiro, 2006].

Certaines caractéristiques des trois types de composites béton-polymère que quelques résultats obtenus par [Blaga., Beaudoin., 1986], [Kirlikovali., 1981] sont présentées dans le *Tableau I.2*.

Tableau I.2. Propriétés des différents types des bétons

Matériau	Résistance à la traction (MPa)	Module d'élasticité (GPa)	Résistance en compression (MPa)	Résistance au cisaillement (MPa)	Conductivité thermique W/(m.k)	Coeff.de dilatation thermique ($10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$)
Béton imprégné de résine	10.3	42	144	26.2	2.19	9.28
Béton modifié au résine	4.1	26.2	41.4	13.8	2.26	7.74
Béton de résine	9.6	36.4	137.9	25.5	2.89	9.54
Béton de ciment Portland	1.7	24.8	34.5	7.6	2.30	7.2

V. Caractéristiques des mortiers ou béton modifiés aux polymères

V.1. Caractéristiques des PMMs et PMCs à l'état frais

V.1.1. Maniabilité

- **Effet du type de latex**

La consistance des mortiers modifiés au latex revêt une grande importance, étant largement utilisés pour la réparation, le renforcement et la finition des structures en béton armé [Jo, 2020]. Comparativement aux mortiers et bétons conventionnels, les mortiers et bétons modifiés au latex offrent généralement une bonne maniabilité, principalement grâce à l'action du roulement à billes des particules de polymère, à l'air entraîné et à l'effet dispersant des tensioactifs présents dans les latex [Chandra et Ohama, 1994 ; Kardon, 1997 ; Pei et al., 2002]. Ion et al. [Ion et al., 2013] ont étudié l'impact de trois types de polymères - résine époxy, polyuréthane et méthylcellulose sur l'affaissement des PMCs. La *Figure I.2* présente les valeurs des tests d'affaissement pour les PMCs et le béton ordinaire pour un rapport E/C de 0.4.

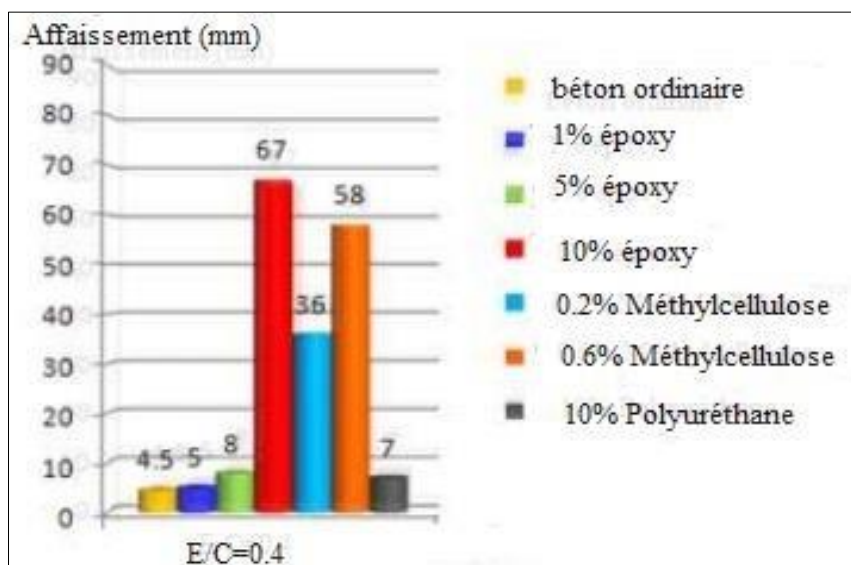


Figure I.2. Valeurs d'affaissement des PMCs et du béton de ciment [Ion et al.,2013].

D'après la *Figure 1.2*, il est évident qu'une quantité de résine époxy inférieure ou égale à 5% n'améliore pas la consistance, et que le polyuréthane n'est pas recommandé pour les mélanges de béton. Les résultats montrent également que les meilleures valeurs d'affaissement ont été obtenues avec la méthylcellulose et 10% de résine époxy. Dans une autre étude [Benali et Ghomari, 2017], il a été démontré que la maniabilité des PMMs utilisant du caoutchouc styrène-butadiène (SBR) et du styrène-acrylique (SA) a considérablement augmenté, passant de 125 mm à 165 mm pour le SBR, tandis qu'elle est restée stable à 125 mm pour la SA, même en réduisant le rapport E/C de 0,5 à 0,25, comme indiqué dans le *Tableau I.3*.

Tableau I.3. Effet des latex de SBR et SA sur le rapport E/C et la consistance des mortiers [Benali et Ghomari,2017]

Désignation de mélanges	E/C	Etalement(mm)
M. réf.	0.5	125
M.2.5%SBR	0.49	125
M.5%SBR	0.48	130
M.10%SBR	0.42	145
M.15%SBR	0.35	160
M.20%SBR	0.25	165
M.2.5%SA	0.5	125
M.5%SA	0.48	
M.10%SA	0.42	
M.15%SA	0.35	
M.20%SA	0.25	

Outre le fait que le latex est un substitut de ciment, il agit également comme un plastifiant réducteur

d'eau [Aggarwal et al., 2007; Benali et Ghomari, 2017; Ramli et Tabassi, 2012].

Cet effet plastifiant est couramment proportionnel à la quantité de latex ajoutée et dépend de la composition du monomère, ainsi que du type et de concentration de surfactant présent dans le latex.

La *Figure I.3* illustre la relation entre le rapport E/C et le rapport polymère/ciment (P/C) à une maniabilité constante (150mm±10% d'affaissement).

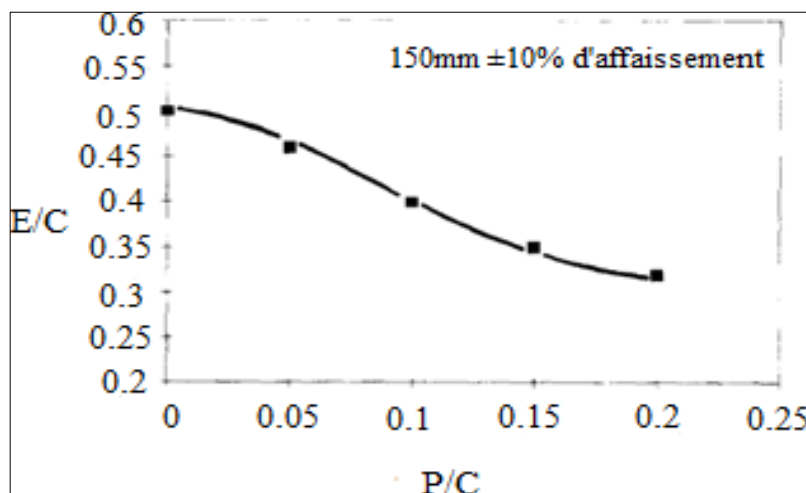


Figure I.3. Relation entre les rapports E/C et P/C à maniabilité constante [Saija,1995].

Il convient de noter que le rapport P/C est défini comme le rapport pondéral de la quantité de solides totaux dans le polymère latex à la quantité de ciment, variant généralement de 0 à 20% en fonction des recommandations du fabricant et des propriétés requises [Bureau et al., 2001; Parghi et Alam, 2016]. Toutefois, ce rapport peut atteindre jusqu'à 60% dans certaines conditions spécifiques [Ribeiro et al., 2008].

Selon la *Figure I.3*, on observe une réduction de 20 à 40% de la demande en eau lorsque le rapport P/C est compris entre 10 et 20%, sachant que les superplastifiants classiques peuvent réduire la quantité d'eau de 20 à 30% [Saija, 1995]. Aggarwal et al. [Aggarwal et al., 2007] ont étudié l'effet des émulsions d'époxy et d'acrylique sur le rapport E/C nécessaire pour maintenir l'écoulement souhaité (*Figure 1.4*). Ils ont constaté que la diminution du rapport E/C est relativement plus importante pour l'acrylique que pour l'époxy, principalement en raison de la tension superficielle plus faible des molécules d'acrylique par rapport à celles de l'époxy. De même, Pei et al. [Pei et al., 2002] ont observé que les émulsifiants de faible masse moléculaire sont plus efficaces pour améliorer la maniabilité du mortier.

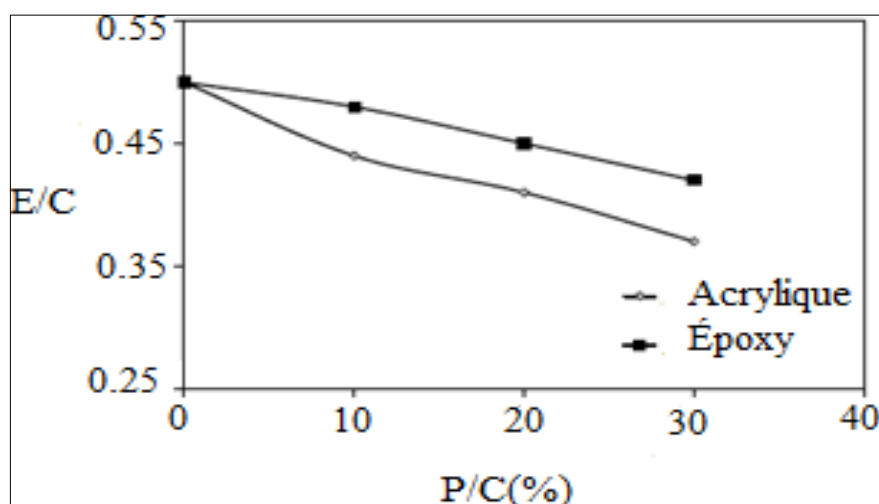


Figure I.4. Influence des polymères époxy et acrylique sur le rapport E/C pour un écoulement constant [Aggarwal et al., 2007].

Les mêmes résultats ont été observés par Jo [Jo, 2020] concernant la variation du rapport E/C en fonction du rapport P/C pour les PMMs utilisant du SBR, de l'EVA et du SAE. À maniabilité équivalente, le rapport E/C des PMMs varie entre 30 et 40%, ce qui est plus faible que celui du mortier de CPO (70%), indépendamment du type de polymère utilisé. Le rapport E/C des PMMs diminue à mesure que le rapport P/C augmente, et le coefficient de corrélation entre ces deux rapports est très élevé ($R^2 = 0,98$), indiquant une relation linéaire négative entre eux, comme le montre la Figure I.5.

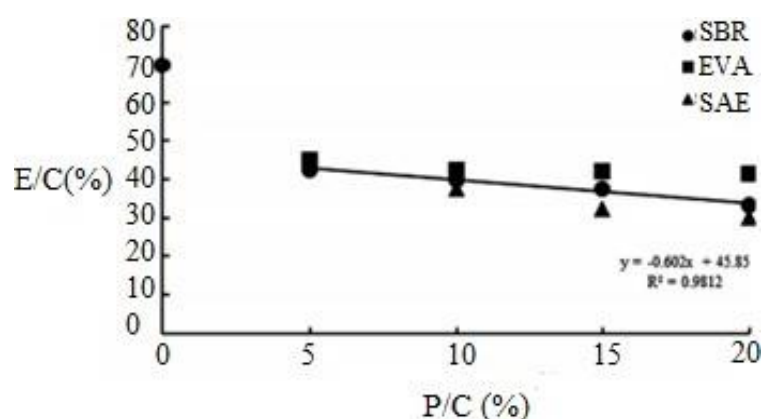


Figure I.5. Variation du rapport E/C en fonction du rapport P/C des PMMs [Jo, 2020].

Betioli et al. [Betioli et al., 2012] ont observé que l'ajout d'EVA réduit la limite d'élasticité et la viscosité des pâtes de ciment à faibles taux de cisaillement, ce qui améliore la maniabilité de la pâte pendant les premières minutes d'hydratation.

Des observations similaires ont été tirées par Sun et al. [Sun et al., 2019], qui ont étudié l'effet du SBR sur la fluidité des pâtes et mortiers de ciment. Ils ont démontré que la fluidité de la pâte est plus

élevée que celle du mortier avec une teneur accrue en latex SBR (*Figure I.6*). Cependant, le changement de fluidité suit une tendance similaire à celle de l'augmentation du rapport P/C, sauf pour le mortier contenant 2% de SBR. Cela peut être attribué au fait que les fines de sable calcaire adsorbent davantage les polymères, limitant ainsi l'effet réducteur d'eau. Des résultats similaires ont été rapportés par plusieurs chercheurs [Bahranifard et al., 2019; Bhogayata et Arora, 2018; Guo et al., 2017; Li et al., 2018].

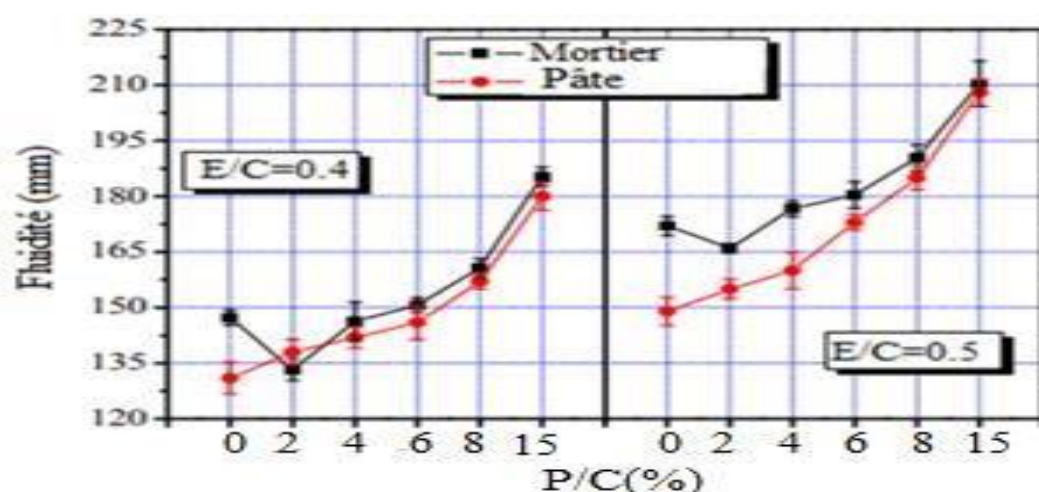


Figure I.6. Effet du SBR sur la fluidité de la pâte et du mortier de ciment [Sun et al., 2019].

- **Effet de la méthode de préparation des PMMs**

À partir des différentes études disponibles dans la littérature, on distingue deux approches principales pour élaborer les mortiers avec des adjuvants polymériques [Balayssac et al., 2011; Barluenga et Hernández-Olivares, 2004; Bureau et al., 2001; Pascal et al., 2004] :

- **Formulation "iso E/C"**: Cette méthode consiste à maintenir le rapport E/C constant. Cette méthode est typiquement utilisée en laboratoire et vise à assurer une hydratation similaire du ciment pour tous les mélanges, permettant ainsi de mieux cerner l'influence du polymère [Brien et Mahboub, 2013; Bureau et al., 2001; Kong et al., 2013; Ma et Li, 2013].

- **Formulation "iso-rhéologie"**: Cette approche maintient la maniabilité constante en ajustant le rapport E/C ou en utilisant un plastifiant. Ce type de formulation est basé sur un processus d'essai, et ses résultats sont appliqués dans des contextes pratiques et réels [Chang et al., 2008; Li et al., 2018; Shaker et al., 1997].

Dans le premier cas, l'effet d'entraînement d'air du polymère accroît la porosité, rendant la formulation "iso-rhéologie" plus répandue. Cette dernière permet de bénéficier de l'effet positif du polymère sur la fluidité des mortiers, nécessitant un rapport E/C réduit, ce qui augmente indirectement les propriétés mécaniques [Bureau et al., 2001; Pascal et al., 2004; Sakai et Sugita,

1995]. Il est important de noter que les résultats obtenus avec ces deux approches sont complètement différents et ne peuvent pas être comparés [Barluenga et Hernández-Olivares, 2004].

Eren et al. [Eren et al., 2017] ont analysé l'influence de deux types de latex, SBR et SAR sur l'écoulement des mortiers de ciment en utilisant les deux approches distinctes. Ils ont choisi un rapport E/C de 0,5 pour la série A et une consistance fixe de 130 mm de diamètre d'écoulement pour la série B. Les *Figures I.7 et I.8* illustrent l'effet des latex SBR et SAR sur la consistance et le rapport E/C des mortiers, ainsi que l'aspect visuel de la variation de l'écoulement des mortiers à un rapport E/C constant (série A), respectivement.

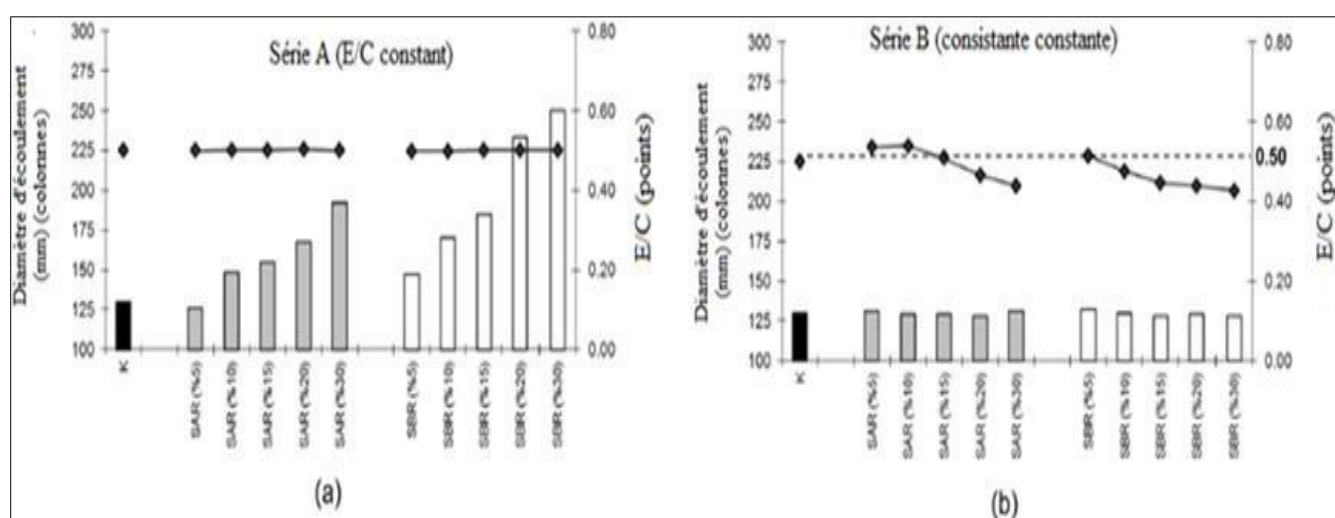


Figure I.7. Effet des latex SBR et SAR sur la consistance de mortier de ciment : (a) à E/C constant; (b) à maniabilité constante [Eren et al.,2017].

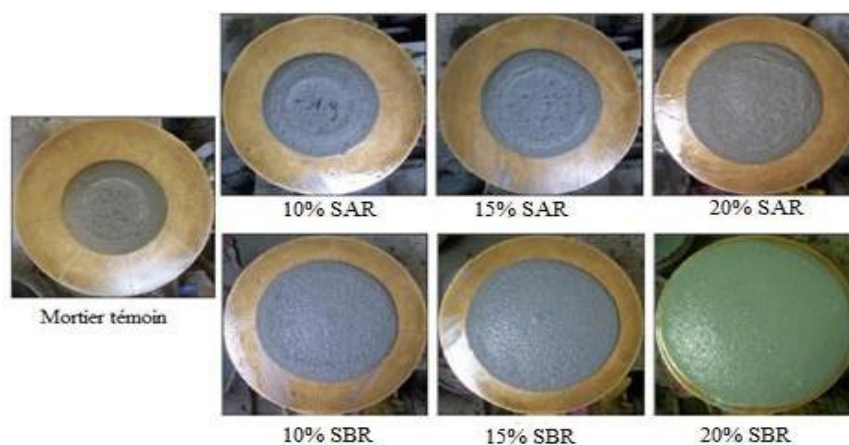


Figure I.8. Photographies d'étalement des mortiers à un rapport E/C constant [Eren et al.,2017].

Eren et al ont observé que, dans la série A, l'amélioration de la consistance est plus prononcée avec le latex SBR qu'avec le latex SAR. Cette remarque est attribuée à la taille légèrement plus petite des

particules de polymère nanométriques dans le SBR par rapport au SAR. Dans la série B, le latex SBR démontre une efficacité de réduction de l'eau supérieure à celle du latex SAR.

- **Influence de superplastifiant sur la maniabilité des PMMs**

L'effet fluidifiant des superplastifiants est influencé par divers facteurs tels que la nature et la concentration du superplastifiant, la température du mélange frais et la procédure de mélange [Sumathy et al., 1997]. Les superplastifiants peuvent considérablement réduire la teneur en eau sans perte d'ouvrabilité et, dans certains cas, évacuer l'air entraîné sans effets secondaires.

Ces propriétés peuvent donc être exploitées pour compenser certaines insuffisances liées à l'application du latex dans les PMMs et PMCs. Cependant, l'utilisation de certains superplastifiants seuls peut entraîner des complications comme des saignements excessifs, une ségrégation et une perte précoce d'ouvrabilité. Ces problèmes peuvent être atténués en combinant le superplastifiant avec du latex [Ray et al., 1994]. En effet, une grande variété de superplastifiants a été étudiée en combinaison avec des latex pour améliorer les propriétés des PMMs et PMCs.

Ray et al ont étudié l'effet individuel et combiné du latex et du superplastifiant sur le mortier de CPO à l'état frais, ainsi que la compatibilité de cinq superplastifiants commerciaux avec quatre latex du groupe des polymères vinyliques et du latex SBR. Ils ont constaté que l'effet combiné du latex et des superplastifiants était bénéfique.

De plus, une autre étude a examiné l'effet combiné de divers types de superplastifiants et de 15% de latex SBR sur la consistance du plâtre de gypse. Trois superplastifiants, basés sur le naphthalène, la mélamine et le polycarboxylate, ont été utilisés. L'effet lubrifiant des particules de latex et la force de répulsion électrostatique du superplastifiant ont conjointement contribué à une réduction considérable de l'eau nécessaire pour atteindre une consistance standard (*Figure I.9*) [Sakthies waran et Sophia, 2018].

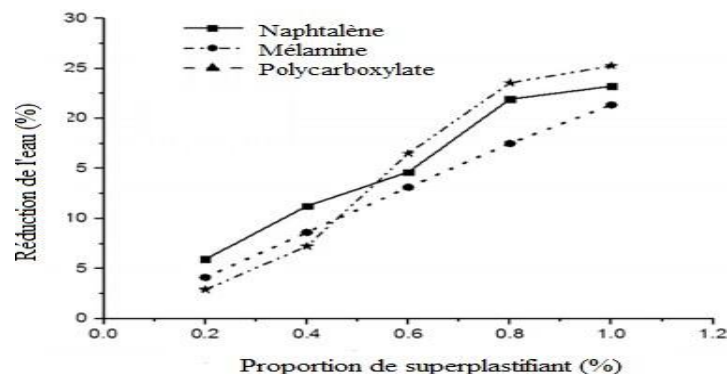


Figure I.9. Relation entre la réduction de l'eau et la proportion de superplastifiant [Waran et Sophia,

2018].

D'après les résultats de Çolak [Çolak, 2005], il existe une différence notable entre le latex et le superplastifiant en termes d'effet de réduction d'eau. Comme prévu, le superplastifiant a un effet de réduction d'eau plus significatif. Cependant, l'efficacité du latex peut être augmentée en ajoutant une faible quantité de superplastifiant.

V.1.2. Densité fraîche

La densité apparente à l'état frais est cruciale, car il a été constaté que la porosité du mortier durci a une relation avec la densité apparente du mortier frais dans une certaine mesure ; les résistances à la compression et à la flexion et le module élastique sont également liés à la porosité et à la densité apparente [Wang et al., 2001].

La densité apparente des mortiers modifiés par la poudre de VA/VeoVa à l'état frais a été évaluée par Wang et Wang [Wang et Wang, 2011]. Ils ont observé une diminution progressive de la densité apparente des PMMs à mesure que le rapport P/C augmente, atteignant un seuil à 15% (Figure I.10).

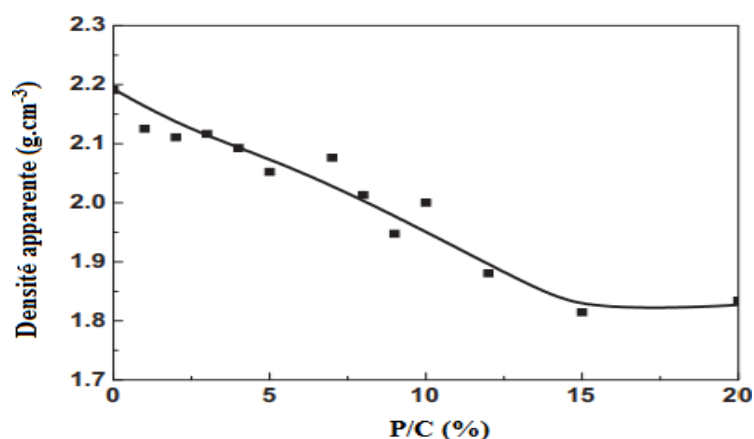


Figure I.10. Densité apparente des PMMs frais [Wang et Wang, 2011]

La même observation et explication ont été obtenues pour les pâtes modifiées par latex SBR comme indiqué dans le *Tableau I.4* [Pascal et al., 2004].

Tableau I.4. Densité des pâtes modifiées par latex SBR [Pascal et al., 2004]

P/C(%)	0	5	7.5	10	12.5	15
Densité (g.cm ⁻³)	2.192	2.091	2.068	2.052	2.029	2.010

Indépendamment de la présence ou de l'absence des granulats fins de déchets de marbre artificiel recyclés, le poids unitaire des mélanges frais diminue de manière significative avec l'ajout des latex SBR et PAE. Le taux de cette diminution est plus prononcé avec le latex PAE qu'avec le latex SBR [Hwang et al., 2008]. Ali et al. [Ali et al., 2012] ont révélé que la densité apparente des mortiers modifiés au latex SBR augmente lorsque le rapport P/C augmente jusqu'à une teneur de 4% en SBR,

puis elle diminue.

Les effets des latex SAR et SBR sur la densité fraîche des mortiers de ciment selon deux procédures expérimentales, pour un rapport E/C constant et à maniabilité constante, ont été examinés par Eren et al. [Eren et al., 2017]. Pour un rapport E/C constant, l'ajout du latex SAR réduit la densité fraîche des PMMs par rapport au mortier témoin (2250 kg/m^3), en augmentant ainsi la teneur en air. La densité fraîche est réduite à 1850 kg/m^3 lorsque le rapport P/C varie de 10 à 15%. À des doses plus élevées de SAR, aucune réduction supplémentaire de la densité n'est observée, probablement en raison de l'instabilité des bulles d'air additionnelles formées dans le mélange. De plus, les mortiers modifiés au latex SBR montrent une légère diminution de la densité fraîche, comparativement au mortier témoin, en raison de l'effet d'entraînement d'air réduit (moins de 3% après avoir ajouté 15% de SBR) (Figure I.11.a).

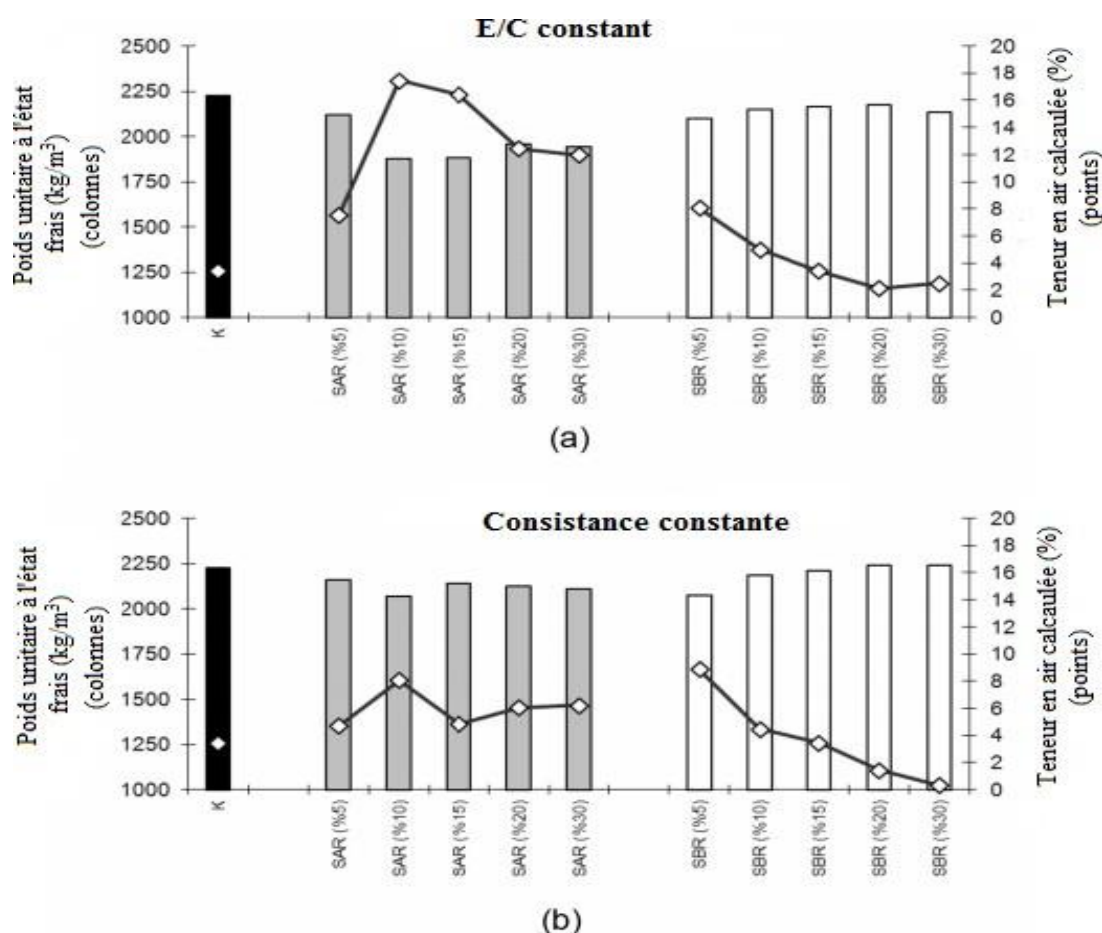


Figure I.11. Impact des latex SAR et SBR sur la densité fraîche et l'entraînement de l'air des mortiers [Eren et al.,2017].

Pour une consistance constante, l'effet du latex SAR sur la légèreté des mortiers frais a diminué par rapport à une formulation avec un rapport E/C constant. Les densités initiales des mortiers modifiés au latex SBR, préparés avec un rapport E/C faible, varient entre 2200 et 2250 kg/m^3 en raison de la capacité de réduction de l'eau et de l'effet d'entraînement d'air limité du latex SBR

(Figure I.11.b). Ces observations suggèrent que le latex SBR est plus efficace pour alléger les PMMs sans entraîner un excès d'air entraîné.

V.2. Propriétés mécaniques des PMMs et PMCs à l'état durci

Les propriétés mécaniques des mortiers de ciment jouent un rôle crucial dans la stabilité à long terme des structures. En particulier, les propriétés mécaniques des PMCM sont essentielles.

Yan et al ont examiné les propriétés mécaniques du mortier de ciment modifié au polymère polyacrylamide soluble dans l'eau. Les résultats ont montré que l'ajout de 0,5 à 1,0 % en poids de polyacrylamide augmente la résistance à la flexion du matériau, avec une augmentation de 5,23 à 9,55 %, indiquant ainsi une ténacité accrue.

Wetzel et al ont constaté que l'incorporation de poly (acide acrylique) ramifié améliore la résistance à la compression, tandis que l'ajout de poly (acide acrylique) de doublure réduisait souvent cette résistance.

De plus, le poids moléculaire du polymère s'est également révélé avoir un impact significatif sur la résistance à la compression du mortier de ciment.

Lin a étudié l'effet de l'éthylène-acétate de vinyle (EVA) sur la résistance initiale des mortiers de ciment. Les résultats ont montré une diminution de la résistance à la compression avec l'augmentation du dosage d'EVA, mais une augmentation de la résistance à la flexion jusqu'à un dosage de 0,25 % de polymère.

Abbas et al ont constaté que le mortier de ciment modifié au PVA présente une résistance à la flexion 50 % plus élevée que celle du mortier ordinaire. Cette résistance optimale a été obtenue avec un rapport eau/ciment de 0,30 et un rapport polymère-ciment de 1,6 %.

Shi et al ont également observé une diminution de la résistance à la compression du mortier modifié au SBR avec l'augmentation de la teneur en polymère, attribuée à l'augmentation de la porosité interne. Cependant, une dose accrue d'irradiation gamma a permis d'améliorer la résistance à la compression des composites PMCM. Actuellement, les propriétés mécaniques des PMCM peuvent être améliorées par l'ajout de fibres, l'exposition à un rayonnement gamma ou l'incorporation d'autres additifs. La résistance à la flexion du PMCM augmente généralement avec le rapport de masse des polymères bien qu'elle puisse diminuer après un certain point.

Song et al ont également constaté qu'une augmentation initiale du rapport polymère-ciment augmente la résistance à la flexion, mais une augmentation ultérieure entraîne une diminution de cette résistance.

Enfin, Guo et al ont renforcé les mortiers cimentaires classiques avec différents dosages de résine époxy, observant ainsi une augmentation de la force d'adhérence interfaciale avec l'ajout de résine époxy.

Yassène et al ont analysé les effets du rapport polymère-ciment et de la dose d'irradiation gamma sur les propriétés physiques et mécaniques du mortier modifié au latex SBR, constatant une diminution de la résistance à la compression avec l'augmentation du rapport P/C (Figure I.12).

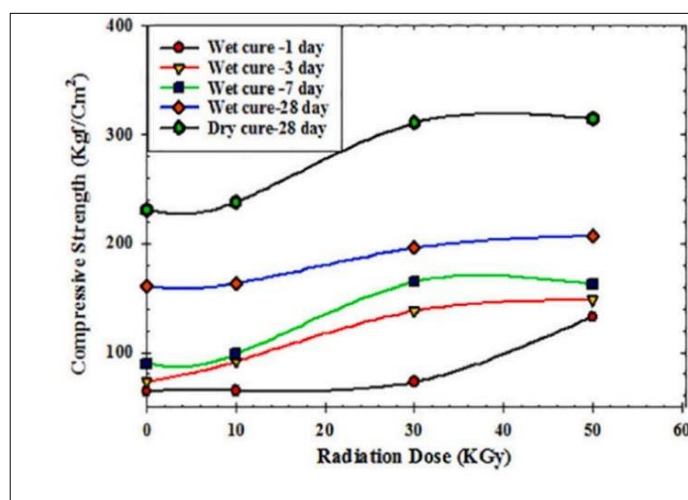


Figure I.12. Effet de la dose d'irradiation γ sur la résistance à la compression du mortier modifié au latex SBR [Yassène et al., 2020].

Gholinezhad et al ont mesuré la résistance à la compression et à la flexion de pâtes de ciment modifiées par du poly(acide styrène-co-2éthylhexyl acrylate-co-métacrylique) (PSEHAMA) et du poly(acide styrène-co-butyl acrylate-co-métacrylique) (PSBAMA). Leur recherche a révélé que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation de la teneur en polymères, tandis que la résistance à la flexion augmente.

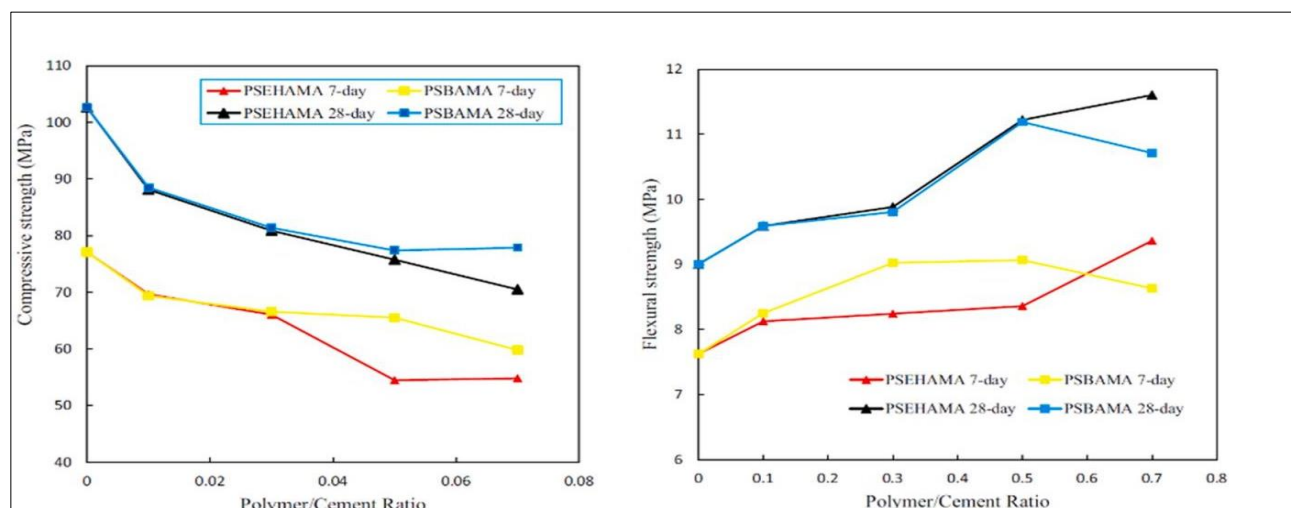


Figure I.13. Lois de variation de la résistance à la compression et à la flexion des mortiers de ciment modifiés PSEHAMA et PSBAMA avec le rapport polymère-ciment à 7 et 28 jours [Gholinezhad et al.,2019].

Le *Tableau I.5* résume certaines contributions à l'étude de la résistance à la compression des PMMs.

Tableau I.5. Récapitulatif de certaines contributions à l'étude de la résistance à la compression des PMMs

Référence	Type de polymère	Résistance à la compression à 28 jours			
		P/C(%)	Résistance de contrôle (MPa)	Résistance obtenue (MPa)	Différence par rapport au contrôle (±%)
[Hwang et Ko, 2008]	SBR	20	45	35	-22.2
[Yao et Ge, 2012]	SBR	5	51.5	50	-2.9
[Kim, 2020]	AC	3	37.72	32.34	-14.3
	PVA			49.91	+32.3
	SBR			44.14	+17
	EVA			50.27	+33.3
[Li et al., 2018]	SBR	20	62.8	63.6	+1.3
	SAE	10		50	-20.4
	PAE	10		61.4	-2.2
[Yasséne et al., 2019]	SBR	2.5	24	24	0
[Zhang et al., 2019]	SA	3	50	47.5	-5

Le *Tableau I.6* résume certaines contributions à l'étude de la résistance à la flexion des PMMs.

Tableau I.6. Récapitulatif de certaines contributions à l'étude de la résistance à la flexion des PMMs

Référence	Type de polymère	Résistance à la flexion à 28jours			
		P/C(%)	Résistance de contrôle (MPa)	Résistance obtenue (MPa)	Différence par rapport au Contrôle (±%)
[Zhong et Chen, 2002]	SAE	10	9.1	8	-12.1
	SBR			9.3	+2.2
[Beeldens et al.,2001]	PA	10	7.63	5	-34.5
	SASAE			7 10.3	-8.3 +35
[Li et al.,2018]	SBR	20	8	14.9	+86.3
	SAE	10		11.2	+40
	PAE	10		12.7	+58.8
[Eren et al., 2017]	SBR	15	9.5	14.3	+50.5
	SAR	10		10.8	+13.7
[Zhang et al., 2011]	SA	20	4.23	6.27	+48.2
[Kim, 2020]	AC	3	6.81	7.92	+16.3
	SBR			9.62	+41.3

V.3. Durabilité des PMMs et PMCs

V.3.1.Absorption d'eau par immersion totale

En règle générale, l'absorption d'eau des PMMs diminue considérablement avec l'augmentation du rapport P/C [Ohama, 1995]. Les échantillons modifiés au latex époxy montrent également une réduction de leur absorption d'eau. Cette diminution s'explique par la formation d'un film polymère qui peut sceller les pores et les protéger de la pénétration de l'eau [Sumathy et al., 1997]. Selon l'étude d'Evbuomwan [Evbuomwan, 1997], les valeurs d'absorption d'eau des PMMs sont influencées par le mode de durcissement, et les échantillons initialement exposés à l'humidité présentent de meilleures performances. Ceci est attribué à la faible porosité des PMMs résultant d'une hydratation plus élevée.

Aggarwal et al ont examiné l'effet de l'ajout de polymère acrylique et époxy sur l'absorption d'eau des mortiers. L'influence du rapport P/C sur l'absorption d'eau des mortiers est illustrée dans la Figure I.14.

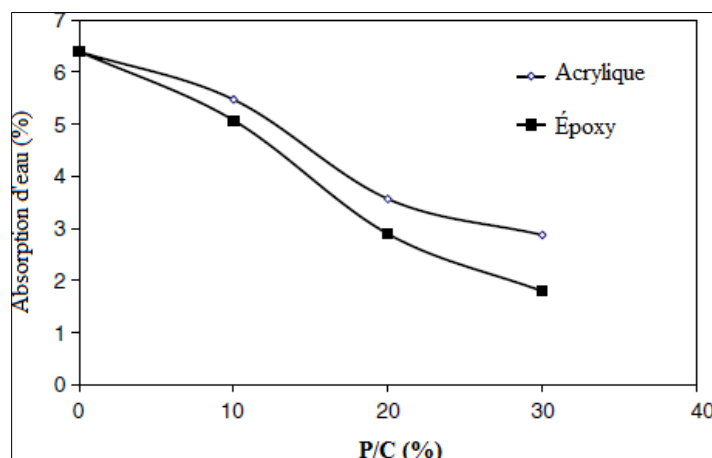


Figure I.14. Effet des polymères sur l'absorption d'eau des mortiers [Aggarwal et al., 2007].

La *Figure I.14* montre clairement que l'absorption d'eau diminue à mesure que le rapport P/C augmente, pour les deux systèmes polymères utilisés. Pour un rapport P/C de 30%, la diminution de l'absorption d'eau est d'environ 45 % et 55 % pour les mélanges modifiés par le polymère acrylique et époxy, respectivement, ce qui suggère que l'ajout de ces polymères entraîne une réduction de la porosité. Ainsi, les PMMs présentent une meilleure résistance aux environnements humides que le mortier de ciment ordinaire. De plus, la plupart des résultats des tests effectués au cours de cette étude montrent que l'émulsion époxy a un effet plus significatif sur l'amélioration des propriétés du mortier que l'acrylique.

Saija a mené une étude sur l'absorption d'eau des PMMs élaborés selon des formulations "iso-rhéologie" et "iso-E/C". Les résultats des absorptions d'eau des PMMs après 7 jours d'immersion en fonction du rapport P/C sont illustrés sur la *Figure I.15*.

Les résultats obtenus pour un rapport E/C constant mettent clairement la capacité d'étanchéité intrinsèque du polymère, indépendamment de son effet bénéfique en réduisant l'eau. En revanche, la série des PMMs préparés à un écoulement constant présente de meilleurs résultats grâce à des rapports E/C réduits.

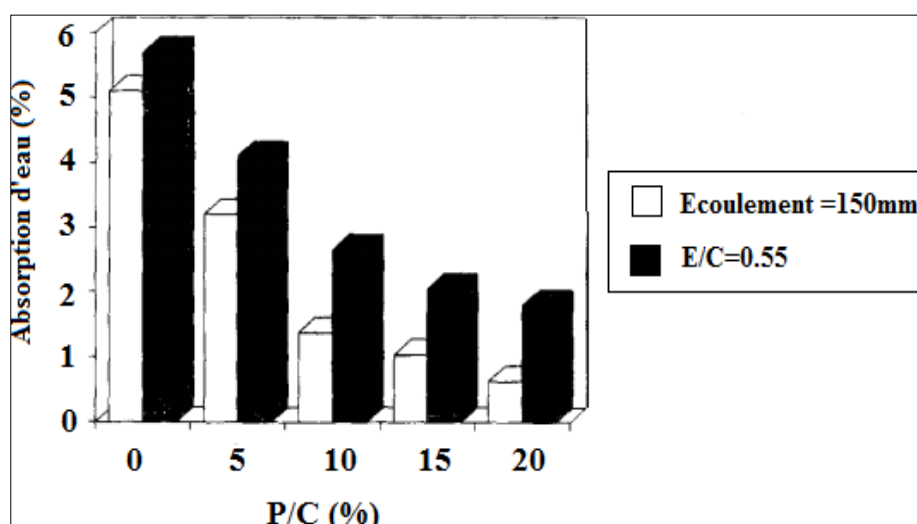


Figure I.15. Variation d'absorption d'eau des PMMs en fonction de la méthode de formulation et du rapport P/C [Saija, 1995].

L'absorption d'eau représente une propriété fondamentale du mortier, étroitement liée à sa durabilité. Cette caractéristique dépend de la vitesse d'absorption et de la porosité effective du mortier. Les résultats de Berkak et al portant sur des tests sur l'absorption d'eau des différents mortiers étudiés sont présentés dans la *Figure I.16*. Ils révèlent que tous les mortiers modifiés au latex SPA présentent une absorption d'eau inférieure à celle du mortier non modifié. De plus, l'absorption d'eau des mortiers polymères modifiés à mesure que le rapport P/C augmente, indiquant une corrélation négative significative entre ces paramètres ($R^2 = -0.943$). Ces résultats sont en accord avec les études antérieures portant sur d'autres polymères tels que le SBR, le PAE et l'époxy [Aggarwal et al., 2007; Ramli et al., 2013].

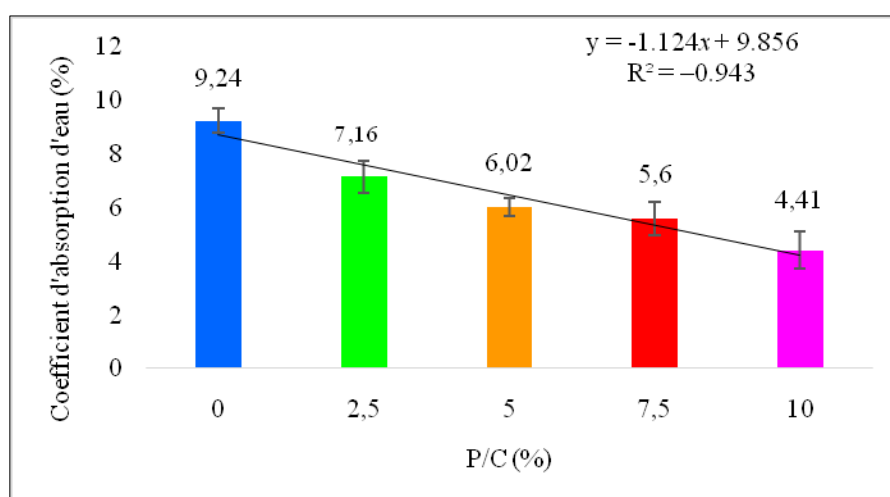


Figure I.16. Effet de l'addition du latex SPA sur l'absorption d'eau des mortiers [Berkak et al., 2021].

Comparativement au mortier de référence, l'ajout de 10 % de SPA entraîne la réduction la plus significative de l'absorption d'eau, atteignant 52%. Cette diminution s'explique par le fait que les particules de polymère remplissent partiellement les macro-pores et les fissures du mortier, améliorant ainsi l'adhésion entre la matrice de ciment et les agrégats. Des recherches antérieures confirment cette observation [Chang et al., 2008; Ramli et al., 2013; Shaker et al., 1997].

Par ailleurs, d'autres travaux ont souligné la relation entre l'absorption d'eau et la perméabilité, mettant en lumière l'influence de la structure poreuse du composite de ciment [Ramli et Tabassi, 2012]. En outre, des études ont révélé que la porosité des mortiers polymères modifiés est comparable à celle des mortiers non modifiés, mais que les diamètres des pores sont plus petits dans les premiers. Bien qu'aucune corrélation ne soit observée entre l'absorption d'eau des mortiers polymères modifiés et la porosité totale, une corrélation significative est constatée avec le diamètre maximal des pores connectés. Par conséquent, il est raisonnable de s'attendre à ce que les mortiers polymères modifiés au latex SPA offrent une meilleure résistance dans des environnements humides, ce qui se traduira par une amélioration notable de leur résistance aux attaques chimiques et à la corrosion.

V.3.2. Absorption capillaire d'eau (sorptivité)

Berkak, 2021 a mené une étude dont les résultats sont présentés dans la *Figure I.17*, illustrant les variations de l'absorption capillaire d'eau cumulée par unité de surface en fonction de la racine carrée du temps pour différents types de mortiers. Les coefficients de sorptivité (S), dérivés de la pente de la régression linéaire de chaque courbe, sont récapitulés dans le *Tableau I.7*.

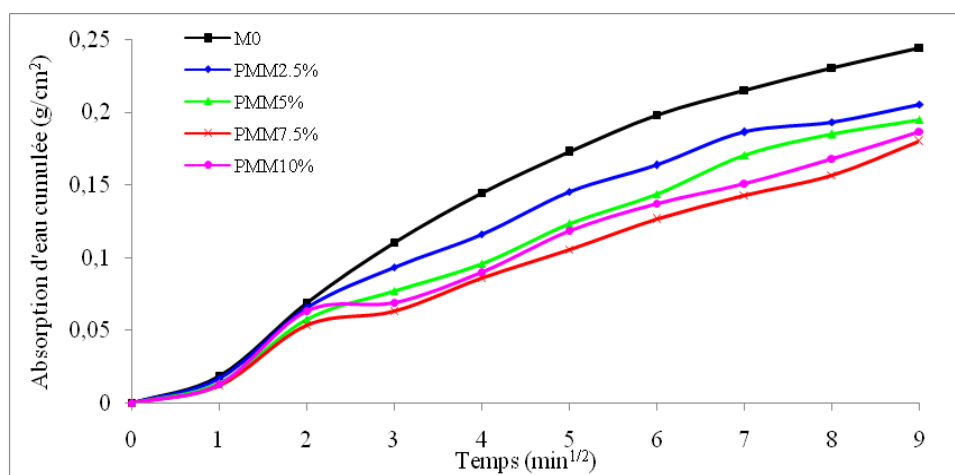


Figure I.17. Relation entre l'absorption capillaire d'eau cumulée des mortiers et la racine carrée du temps [Berkak ., 2021].

Tableau I.7. Coefficient de sorptivité des mortiers étudiés [Berkak., 2021]

Mortier	Coefficient de sorptivité ($10^{-2} \cdot \text{g/cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$)
M0	2.84
PMM 2.5%	2.37
PMM 5%	2.26
PMM 7.5%	1.98
PMM 10%	2.07

L'analyse de la *Figure I.17* par Berkak [Berkak, 2021] montre une corrélation entre l'augmentation du poids cumulé d'eau absorbée par unité de surface et la racine carrée du temps pour tous les mortiers étudiés, ce qui est cohérent pour l'ensemble des échantillons. Toutefois, l'introduction de latex SPA entraîne une réduction significative de l'absorption capillaire d'eau, particulièrement à des rapports P/C élevés. Cette diminution s'explique par les propriétés hydrophiles du polymère latex, formant un réseau de membranes imperméables qui réduisent l'espace poreux. De plus, une réduction du rapport E/C semble également améliorer le coefficient de sorptivité du PMM, comme mentionné dans l'étude d'Aattache et al. [Aattache et al., 2017].

Les résultats de Berkak sont cohérents avec des études antérieures sur d'autres polymères latex tels que le SBR et le SAE [Assaad, 2018 ; Liu et al., 2020 ; Wang et al., 2015]. Les données du Tableau I.8 montrent clairement une diminution progressive des valeurs de sorptivité avec l'augmentation des rapports P/C, bénéfique pour la durabilité des composites. Notamment, la sorptivité du PMM avec 7,5 % de latex SPA est inférieure à celle des autres PMMs, avec une réduction d'environ 30 % par rapport au mortier témoin. Cela suggère que l'ajout de 7,5 % de latex SPA suffit à améliorer l'imperméabilisation du mortier de ciment. Cependant, lorsque le rapport P/C atteint 10 %, le coefficient de sorptivité est légèrement supérieur à celui du PMM avec 7,5 % de latex SPA, probablement en raison d'une concentration excessive de latex SPA, induisant des discontinuités dans la microstructure du mortier [Berkak., 2021].

V.3.3. Accessibilité à l'eau

Les polymères ajoutés aux mortiers agissent comme des agents de remplissage et des liants qui modifient la microstructure du matériau, réduisant ainsi la porosité et la perméabilité. Diverses études ont montré que l'incorporation de polymères, tels que les latex, réduit la quantité de pores connectés, diminuant ainsi la pénétration de l'eau [Ohama, Y., 1995].

Des expériences menées pour évaluer l'accessibilité à l'eau des PMCM montrent une réduction significative de l'absorption d'eau par capillarité. Les polymères créent une structure plus dense et homogène qui empêche l'eau de pénétrer aussi facilement que dans un mortier traditionnel [Silva Monteiro, 2006].

Différents types de polymères offrent diverses améliorations en termes de perméabilité. Les polymères acryliques, les polyvinylacetates (PVA), et les éthylènes sont parmi les plus efficaces pour réduire l'accessibilité à l'eau [Siddique, Khan, 2011].

L'utilisation de PMCM dans des applications pratiques montre une performance améliorée dans des environnements exposés à l'humidité et à l'eau. Les études de cas sur les structures utilisant des PMMs démontrent une longévité accrue grâce à la réduction de la pénétration de l'eau [Bentur, Mindess, 2006].

VI. Domaines d'applications des mortiers modifiés aux polymères

Les mortiers modifiés aux polymères trouvent une vaste gamme d'applications dans divers domaines grâce à ses propriétés améliorées par rapport aux mortiers traditionnels. Voici quelques-uns des principaux domaines d'utilisation [Neville, 1988 ; Fournier ,1996 ; Corinaldesi et al., 2014].

- **Construction et réparation de béton :** Les mortiers modifiés aux polymères sont couramment utilisés pour la réparation et la restauration de béton dans les structures (*Figure I.18*) telles que les ponts, les routes et les bâtiments. Ils offrent une meilleure adhérence, résistance aux intempéries et durabilité accrue.



Figure I.18. Exemple d'utilisation de mortier modifié aux polymères dans construction et réparation de béton.

▪ **Revêtements de sols et de murs :** Dans l'industrie de la construction, ce type de mortier est utilisé pour installer des carreaux de céramique, de pierre ou de marbre sur les sols et les murs. Les polymères améliorent l'adhérence, réduisent les fissures et offrent une meilleure résistance à l'eau *Figure I.19*.



Figure I.19. Exemple d'utilisation de mortier modifié aux polymères dans murs.

▪ **Travaux de réparation et de restauration historique :** Les projets de conservation et de restauration des bâtiments historiques nécessitent souvent l'utilisation de mortiers spéciaux pour correspondre aux matériaux d'origine. Les mortiers modifiés aux polymères sont choisis pour leur compatibilité avec les matériaux anciens tout en offrant des performances améliorées *(Figure I.20)*.



Figure I.20. Exemple de travaux de réparation et de restauration historique.

▪ **Travaux de réparation structurelle :** Les mortiers modifiés aux polymères sont utilisés pour réparer et remédier les dommages structuraux, notamment les fissures et les trous présents dans les murs, les dalles et d'autres éléments de construction. Leur capacité à adhérer efficacement aux substrats et à résister aux charges mécaniques les rend un choix populaire pour ces applications.

▪ **Scellement et jointoiment** : Dans les projets de construction et de rénovation, les mortiers modifiés aux polymères sont utilisés pour sceller et jointoyer divers éléments tels que les joints de carrelage, les joints de dilatation, ainsi que pour combler les fissures dans le béton (*Figure I.21*).



Figure I.21. Exemple de travaux de réparation et jointoiment.

VII.Conclusion

Ce premier chapitre vise à consolider les connaissances et les résultats expérimentaux sur le comportement physico-mécanique des matériaux polymères modifiés (PMM) à l'état frais et durci, ainsi que sur leur durabilité. En se fondant sur les observations formulées dans ce chapitre, plusieurs conclusions peuvent être tirées :

- Les polymères latex sont couramment intégrés en tant qu'adjuvants réducteurs d'eau, ce qui favorise une meilleure maniabilité du mortier et du béton. Cela est dû à l'action de roulement des particules de polymère, à l'incorporation d'air, et à l'effet dispersant des tensioactifs contenus dans les latex.
- Les PMM ont généralement un volume d'air incorporé plus élevé que les mortiers de ciment, en raison des tensioactifs présents dans les latex. Un excès d'air incorporé peut toutefois réduire la résistance à la compression.
- L'incorporation de polymère latex dans les systèmes à base de ciment peut entraîner une légère amélioration ou une diminution de la résistance à la compression par rapport aux composites conventionnels. Cette variation est le résultat de deux phénomènes opposés : la faible résistance à la compression du latex par rapport au ciment et la réduction du rapport eau/ciment due à l'effet plastifiant du latex.
- Les applications des mortiers modifiés par polymère incluent la fixation de carreaux et de pierres, la réparation du béton, le remplissage des pores et des fissures, la réparation des trottoirs et des passages, les applications extérieures liées à l'eau, l'installation de blocs de béton et l'isolation de surface.

De plus, les mortiers modifiés par polymère se présentent comme une excellente alternative aux matériaux traditionnels tels que le mortier ordinaire ou le ciment, offrant une excellente adhérence et une facilité d'application. Cependant, dans le cadre de nos recherches futures, nous envisageons d'approfondir l'exploration de l'influence des différents types des sables locaux utilisés à des proportions variables sur les propriétés physico-mécaniques du mortier modifié au polymère.

CHAPITRE 2 : Matériaux utilisés et procédures expérimentales

I. Introduction

Les propriétés physico-mécaniques et la durabilité des mortiers modifiés aux polymères, ainsi que l'influence des sables locaux sur ces propriétés, résultent d'une interaction complexe entre leurs divers composants. C'est pourquoi, il est indispensable de caractériser les différents matériaux utilisés.

La première partie de ce chapitre est consacrée à la présentation des matériaux utilisés, de leurs compositions et des techniques expérimentales utilisées.

Dans la deuxième partie de ce chapitre, nous détaillons la composition des différents mélanges, les protocoles expérimentaux de préparation des échantillons et enfin les différents essais à réaliser.

II. Matériaux utilisés

Le choix des matières premières s'est porté principalement sur leur disponibilité dans la région de Laghouat. Donc, les matériaux utilisés sont :

- Un sable calcaire concasse (SC).
- Un sable de dune (SD).
- Un ciment CEM I 42.5 N-LH/SR 5.
- Un polymère latex (Sika Latex).
- Un adjuvant super plastifiant (Tempo 12).
- Eau de gâchage.
- Tous les matériaux mentionnés ci-dessus seront décrits en détail.

II.1. Ciment

Le ciment CEMI 42.5 N-LH/SR5 (Al ESSSES) (*Figure II.1*), provenant de la cimenterie d'AMOUDA (El-Beidha, Gueltet Sidi Saad, wilaya de LAGHOUAT).



Figure II.1. Apparence de sac du ciment utilisé.

Les propriétés chimiques et physico-mécaniques du ciment sont répertoriées dans le *Tableau II.1* selon la fiche technique (annexe 1).

Tableau II.1. Propriétés chimiques et physico-mécaniques du ciment utilisé

Clinker	-	95 %
C ₃ A	Bogue	≤ 5%
SO ₃	NA 5042 (EN 196-2)	≤ 3%
Chlorure	NA 5042 (EN 196-2)	≤ 0.1%
Délai de prise	NA 230 (EN 196-3)	> 60 min
Résistance à la compression (2 jours)	NA 234 (EN 196-1)	> 10 MPa
Résistance à la compression (28 jours)	NA 234 (EN 196-1)	> 42.5 MPa
Perte au feu	-	≤ 5 %

II.2. Polymère latex SIKA

Le polymère latex utilisé est une dispersion aqueuse de résine synthétique qui se présente sous la forme d'un liquide laiteux concentré (*Figure II.2*). Il s'agit d'un produit algérien connu sous le nom commercial « SIKA », fourni par la société « Sika El Djazair SPA ». Ce latex est parfaitement miscible et s'ajoute directement à l'eau de gâchage des mortiers de ciment. Les principales caractéristiques du latex SIKA (selon sa fiche technique mentionnée en annexe 2).



Figure II. 2. Apparence générale du latex SIKA.

II.3. Sables utilisés

II.3.1. Sable Calcaire concassé (SC)

Ce sable provient de roches issues de la barre calcaire dolomitique du Turonien de l'Atlas saharien central Algérien. La source de ce sable est une carrière de concassage (carrière de M. Ouzzane) située à la limite septentrionale du Djebel Mokrane (*Figure II.3*), au nord de la ville de Laghouat. C'est un sable calcaire concassé de couleur blanchâtre de diamètre maximal de 5 mm (*Figure II.4*).



Figure II. 3. Site d'extraction de sable calcaire.



Figure II. 4. Apparence générale du sable calcaire dans le site.

II.3.2. Sable de Dune (SD)

Le sable utilisé dans cette recherche expérimentale est un sable de dune ramené de la région de Garet El Hamame, située à Sidi Mekhlouf-Laghoaut (*Figure II.5* et *II.6*).

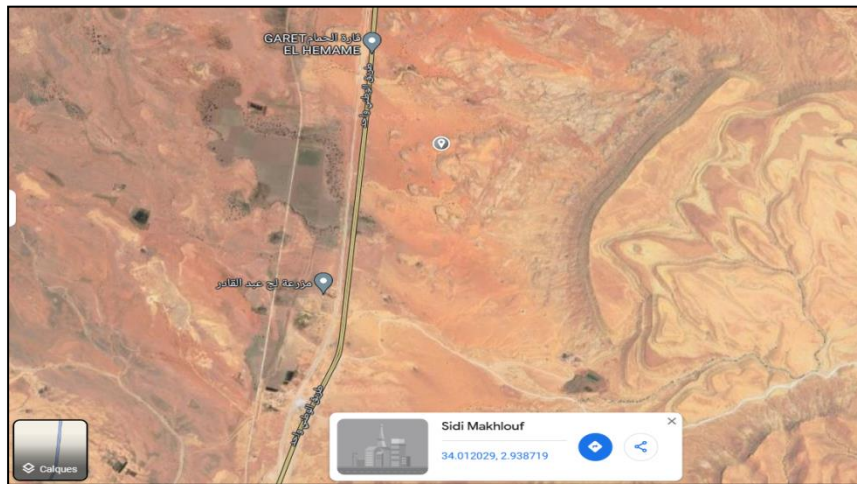


Figure II.5. Site d'extraction de sable de dune.



Figure II.6. Apparence générale du sable de dune dans le site.

II.3.3. Caractérisation physique des sables utilisés

Afin de connaître les propriétés physiques des sables utilisés, nous devons réaliser les essais suivants :

a) Analyse granulométrique

L'analyse s'effectue par tamisage avec une série des tamis normalisés selon la norme [NF EN 933-1]. Les tamis sont disposés par ordre croissant de dimensions, avec un récipient placé en dessous. Après tamisage les refus de chaque tamis ainsi que le tamisât ayant passé à travers le tamis sont pesés et notés.

La courbe granulométrique est la carte d'identité d'un granulat. Elle indique les proportions des grains de chaque dimension. Les courbes granulométriques des différents sables étudiés sont présentés sur les figures II.7 et II.8.

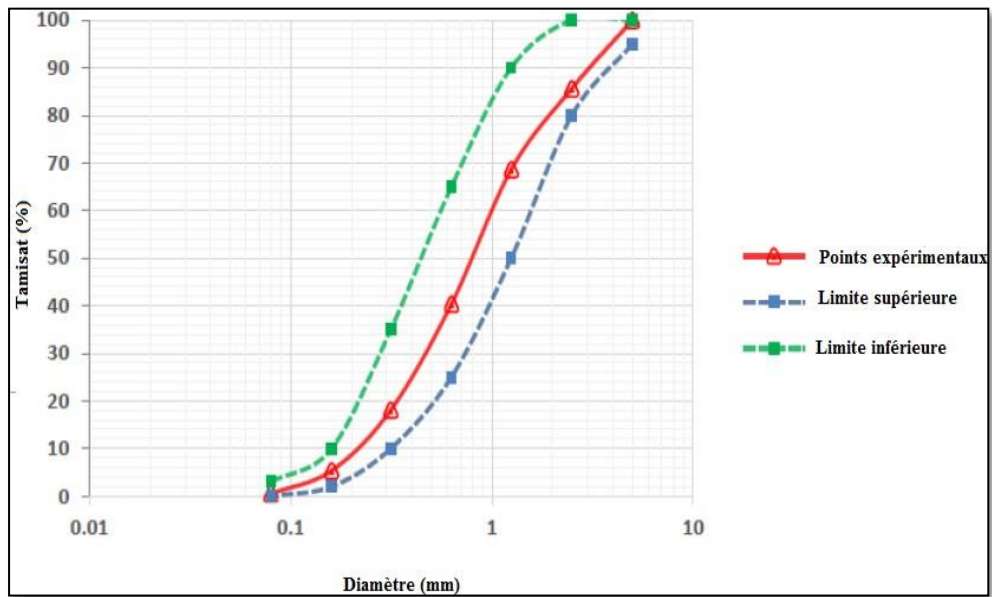


Figure II. 7. Distribution granulaire du sable calcaire concassé.

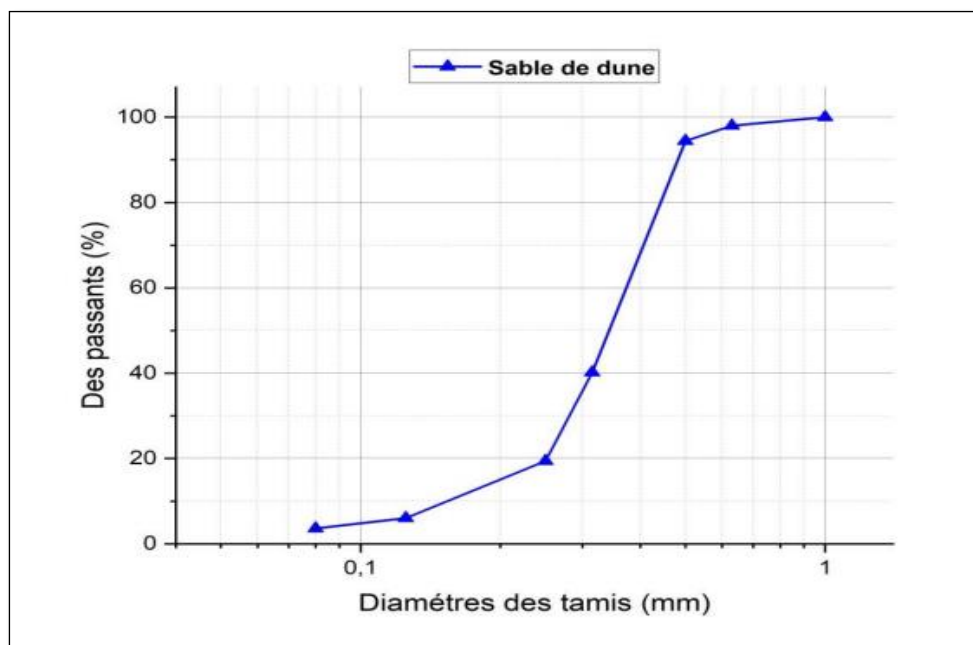


Figure II. 8. Distribution granulaire du sable de dune.

b) Module de finesse

D'après les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage, le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse M_f . Celui-ci correspond à la somme des

pourcentages des refus cumulés pour les tamis d'ouverture (mm): 0.16 - 0.315 - 0.63 - 1.25 - 2.5 et 5 sur 100, selon la norme [NF P18-540], comme indiqué dans la relation suivante:

$$M_f = \frac{\sum R_c}{100}$$

Les résultats obtenus sont présentés dans le *Tableau II.2*.

Tableau II. 2. Module de finesse (M_f) des sables étudiés

Type de sable	Module de finesse (M_f)
SC	3.21
SD	1.8

Selon la classification des sables présentée dans le *Tableau II.3*, il ressort que le sable de dune (SD) est un sable fin tandis que le sable calcaire (SC) est classé comme un sable grossier.

Tableau II. 3. Classement du sable [NF EN 126-20]

Qualité de sable	Module de finesse
Sable fin	$1.8 \leq M_f \leq 2.2$
Sable moyen (préférentiel)	$2.2 \leq M_f \leq 2.8$
Sable grossier	$2.8 \leq M_f \leq 3.2$

c) Masses volumiques apparente et absolue

Pour étudier la formulation d'un mortier, il est indispensable de connaître la masse volumique absolue et apparente des granulats. Elles sont exprimées en kg/m^3 , ou g/cm^3 et sont déterminées conformément aux normes **NF P18-555** et **NF P18-554**, respectivement. Les résultats trouvés sont présentés sur le *tableau II.4*.

Tableau II.4. Masses volumiques des sables étudiés

Type de sable	Masse volumique apparente (g/cm^3)	Masse volumique absolue (g/cm^3)
SC	1.49	2.59
SD	1.6	2.65

d) Porosité et compacité

L'essai de porosité et de compacité est réalisé conformément à la norme NF P 18-554.

• Compacité

Elle est définie comme étant le rapport de la masse volumique apparente ρ_a sur la masse volumique absolue ρ_{ab} ; elle est représentée en pourcentage.

- **Porosité**

C'est le volume des vides entre les grains du sable, la porosité par définition est le complément à l'unité de la compacité au volume total comme suit:

$$P\% = 100 - C\%$$

Les résultats obtenus sont résumés dans le *Tableau II.5*.

Tableau II.5. Résultats de la compacité et la porosité des sables étudiés

	SC	SD
Compacité	57.53	60.37
Porosité	42.47	39.63

e) Equivalent de sable

Cet essai, défini par la norme [NF P 18-598] (*figure II.9*), est utilisé pour évaluer la propreté du sable entrant dans la composition du mortier, et par conséquent, la proportion des impuretés argileuses contenues dans le sable par rapport à la quantité des grains solide sableux. Il est effectué sur la fraction 0/5 mm du sable à étudier. L'échantillon a été lavé selon un processus normalisé, puis laissé à reposer. Au bout de 20 minutes, les mesures suivantes sont effectuées:

Hauteur H1 : sable propre seulement ;

Hauteur H2 : sable propre + éléments fins.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, permettant de déterminer le degré de propreté du sable :

$$ES = \frac{H2}{H1} \times 100\%$$

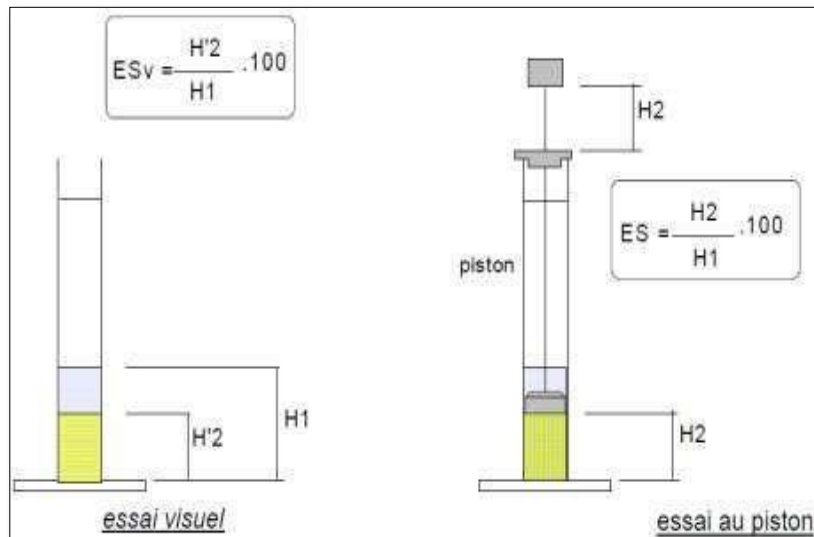


Figure II. 9. Essai d'équivalent de sable.

Selon que la hauteur H2 est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston, on détermine ESV (équivalent de sable visuel) ou ESP (équivalent de sable au piston), respectivement. Les résultats obtenus sont présentés sur le *Tableau II.6*.

Tableau II. 6. Résultats d'équivalent de sable visuel et au piston des sables étudiés [NF P 18-598]

Type du sable	ESV (%)	ESP (%)	Nature et qualité du sable
SC	67.8	68.20	Sable propre légèrement argileux
SD	87	79	Sable très propre

f) Absorption d'eau

L'absorption d'eau des granulats est une propriété importante qui peut influencer les caractéristiques du béton et du mortier. Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon.

Cet essai est réalisé selon la norme [NF P 18-555]. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20°C. Le coefficient d'absorption (Ab) est défini par la relation suivante:

$$Ab \% = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100\%$$

M_s: Masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105°C.

M_h: Masse de l'échantillon en état saturé et surface sèche.

Les résultats obtenus sont présentés sur le *Tableau II.7*.

Tableau II. 7. Résultats du coefficient d'absorption des sables étudiés

Type de sable	Absorption d'eau (%)
SC	4.7
SD	0.4

II.4. Eau de gâchage

L'eau joue un rôle crucial dans la confection de mortier modifié au polymère, car elle sert à hydrater le ciment, à faciliter la mise en œuvre et influe aussi sur la formation du film polymère [Brien, 2014; Serag et al., 2019; Sperry et Snyder, 1993]. Il est important de noter que la quantité d'eau nécessaire au gâchage des mortiers se divise en trois parts, la première partie est destinée à l'hydratation du ciment, la deuxième est adsorbée par les granulats et la troisième constitue l'eau libre nécessaire pour le maintien de l'ouvrabilité. La majorité de cette dernière est perdue par le ressuage et l'évaporation sous les conditions climatiques, menant au retrait plastique des mortiers. Dans cette étude, nous avons utilisé pour le gâchage des mortiers l'eau du robinet du laboratoire de génie civil, à l'Université de Laghouat, exempte de toutes impuretés. Nous supposons qu'elle est conforme aux exigences de la norme [NF EN 1008,2003] en matière de béton.

II.5. Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un superplastifiant fabriqué par la société «SIKA» et commercialisé sous la dénomination « SikaVisco Crete TEMPO-12 » (*Figure II.10*). Il est un superplastifiant-haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération à base de polycarboxylates. La fiche technique de cet adjuvant est jointe sur (Annexe 3), avec un rapport E/C fixe compatible avec tous les types de ciment.

**Figure II.10.** Superplastifiant SikaViscoCreteTEMPO-12.

Selon la fiche technique de cet adjuvant, la plage d'utilisation recommandée est comprise entre **0.1** et **5%** du poids du ciment.

Il se présente sous forme d'un liquide brun clair à foncé. Le choix de cet adjuvant s'articule essentiellement sur les essais préliminaires effectués au niveau du laboratoire de génie civil à l'Université de Laghouat.

III. Formulation des mortiers étudiés

III.1. Optimisation des mélanges

Il existe plusieurs méthodes de formulation de matériaux de construction renforcés de polymères, particulièrement les mortiers modifiés aux polymères. Ces méthodes expérimentales visent à améliorer les propriétés physiques et mécaniques de ces matériaux à l'état frais et durci. Dans notre étude, nous avons préparé deux séries des mélanges, qui sont les suivantes :

1. Mortiers de référence :

Ces mortiers sont considérés comme des mortiers cimentaires classiques, où le liant est exclusivement cimentaire, sans ajout de polymère latex. Nous avons préparé quatre mélanges différents en utilisant différentes proportions massiques de sables locaux :

- 100% de sable calcaire et 0% sable de dune.
- 90% de sable calcaire et 10% de sable de dune.
- 80% de sable calcaire et 20% de sable de dune.
- 70% de sable calcaire et 30% de sable de dune.

Le rapport E/C est constant dans ces mélanges et est égal à 0.5, tandis que le rapport des superplastifiants varie en fonction de la maniabilité de mélange.

2. Mortiers modifiés au polymère latex

Dans ces mortiers, le polymère latex est incorporé de 5% du poids du ciment (rapport Polymère /Ciment 'P/C' =5%) et le rapport E/C= 0.48 a été sélectionné. Notons que la quantité d'eau contenue dans le latex est incluse dans la teneur totale en eau de gâchage. Les mêmes pourcentages des sables que ceux utilisées pour la série des mortiers témoins ont été appliqués.

III.2. Composition des mortiers

La composition des mortiers est réalisée conformément à la norme **EN 196-1**, de manière qu'elle soit similaire à celle du mortier normalisé. Le mortier est composé en masse, d'une partie de ciment, de trois parties de sable et d'une demie partie d'eau (E/C=0,5 et S/C=3) (Tableau II.8).

Tableau II.8. Compositions en masse des mortiers étudiés pour trois éprouvettes 4*4*16 cm³

Constituants	Ciment (g) CEM 1 N- H/SR5	Latex (g) *	100 % SC	90 % SC 10 % SD	80 % SC 20 % SD	70 % SC 30 % SD	E/C	Eau (g)	Sp*/C (%)
M1	495	0	1485				0.5	247.5	0.4
M2	495	0		1336.5			0.5	247.5	0.45
				148.5					
M3	495	0			1118		0.5	247.5	0.5
					297				
M4	495	0				1039.5	0.5	247.5	0.5
						445.5			
PMM1	495	49.5	1485				0.48	212.9*	0.3
PMM2	495	49.5		1336.5			0.48	212.9*	0.15
				148.5					
PMM3	495	49.5			1118		0.48	212.9*	0.15
					297				
PMM4	495	49.5				1039.5	0.48	212.9*	0.1
						445.5			

*en extrait sec.

212.9*Quantité d'eau sans celle présente dans le latex

III.3. Procédures de malaxage

Pour le malaxage des constituants, un malaxeur à mortier de capacité 5 litres selon les étapes suivantes :

- Les matières en poudre tels que les matériaux cimentaires et les sables ont été mélangés à sec à une vitesse lente pendant de 2 minutes pour assurer une meilleure homogénéité du mélange ;
- Le mélange du polymère latex et 90% d'eau, préalablement préparé, a été ajouté progressivement pendant une minute ;

- Le malaxeur a été ensuite arrêté pour racler les parois du bol par une cuillère ;
- Après cet arrêt, le malaxage a été repris durant 2 minutes avec une vitesse rapide et en introduisant le superplastifiant et 10% d'eau restante ;

Le mortier est malaxé pendant 5 minutes conformément aux exigences de la norme [EN 196-1-2006]. Ces opérations de malaxage sont récapitulées dans la *Figure II.11*.

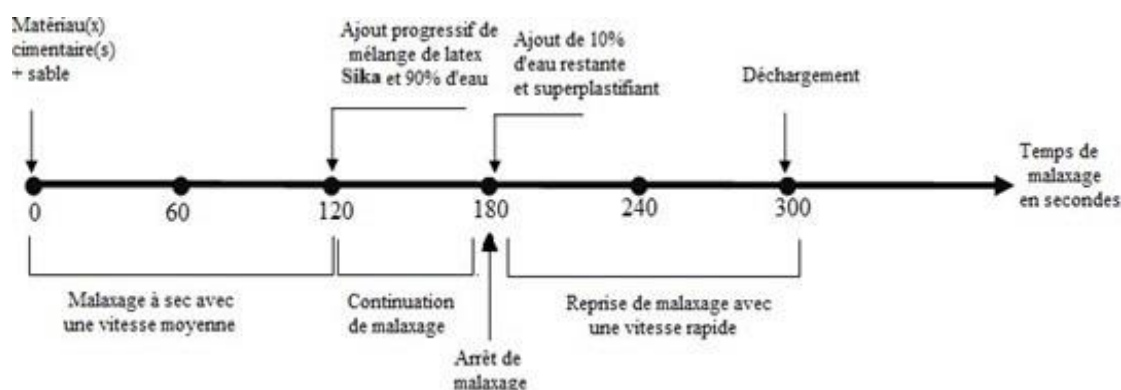


Figure II. 11. Protocole de malaxage du mortier modifié au polymère latex SIKA.

Après la procédure de malaxage, les mélanges ont été versés dans des moules prismatiques de $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ en deux couches égales, compactées mécaniquement par vibration sur une table à chocs électrique. Immédiatement après le moulage, les éprouvettes ont été recouvertes d'un film plastique pour éviter l'évaporation de l'eau et conservées dans des conditions normales de laboratoire ($25 \pm 3^\circ\text{C}$ et $50 \pm 10\% \text{ HR}$). Après 24 heures, elles ont été démoulées soigneusement et placées dans différents milieux de conservation jusqu'à l'âge de l'essai.

III.4. Modes de cure

Les modes et les conditions de cure adoptés dans cette étude sont résumés dans le *Tableau II.9*.

Tableau II. 9. Conditions de cure du PMM et du mortier à base de ciment

Type D'échantillon	Nom de cure	Conditions de cure	Références
Mortier à base de ciment	Immersion dans l'eau	Cure recommandée pour les mortiers hydrauliques purs [NF EN 1504, 2004].	[Marceau et al. 2012; Wang et al. 2005]
PMM	Cure mixte	Immersion dans l'eau pendant 6 jours + cure sèche à $25 \pm 3^\circ\text{C}$, $50 \pm 10\% \text{ HR}$ jusqu'à l'âge de l'essai.	[Benali et Ghomari, 2017 ; Ramli et al., 2013 ; Rashid et al., 2015 ; Wang et al., 2015]

IV. Méthodes d'essais

Afin d'étudier les effets des sables locaux et du polymère latex sur les propriétés physico-mécaniques des PMM, les essais de ce travail expérimental sont effectués aux états frais et durci et de durabilité.

IV.1. Essais sur mortiers à l'état frais

IV.1.1. Maniabilité

L'appareil utilisé pour cet essai, appelé Maniabilité LCL (B) (*Figure II.12*). Il se compose d'un boîtier métallique parallélépipédique (7.5 cm x 7.5 cm x 15 cm) posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibreur et muni d'une cloison amovible.

Cet essai a permis de tester la maniabilité d'un mélange de mortier, conforme aux normes [NF P 18 – 452] et [NF P 15 -437]. Ces essais évaluent la consistance en mesurant le temps nécessaire au mortier pour s'écouler sous l'effet de vibrations (*Figure II.13*).

Le temps nécessaire pour cet écoulement détermine la consistance du mortier, établie à une valeur constante de 10 ± 2 secondes selon Dizayee et Gallias [Dizayee et al., 2007; Gallias et Dizayee., 2009].

Cette constance indique que le mortier est plastique et maniable. Les temps d'écoulement plus court ou plus long correspondent à un mortier plus fluide ou plus ferme, respectivement.

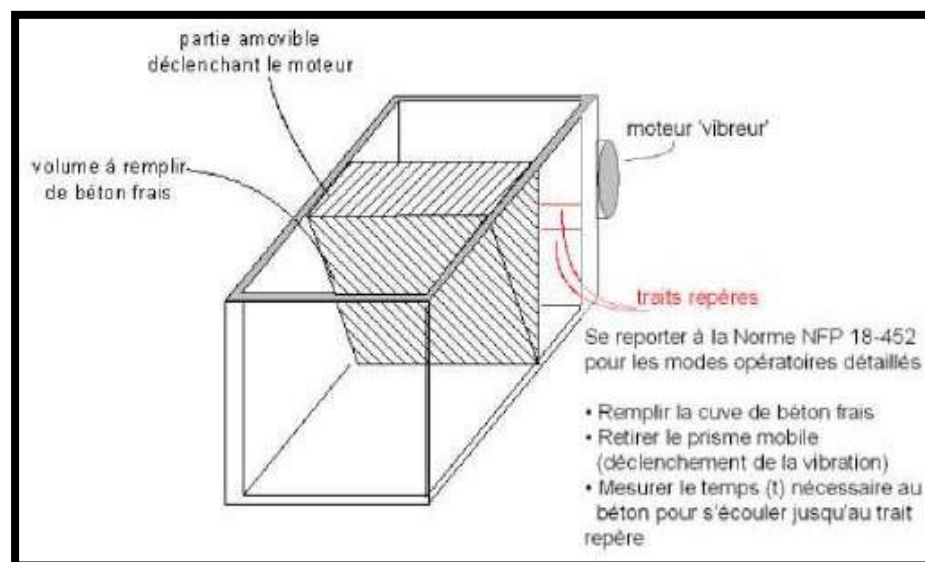


Figure II. 12. Maniabilité LCL.

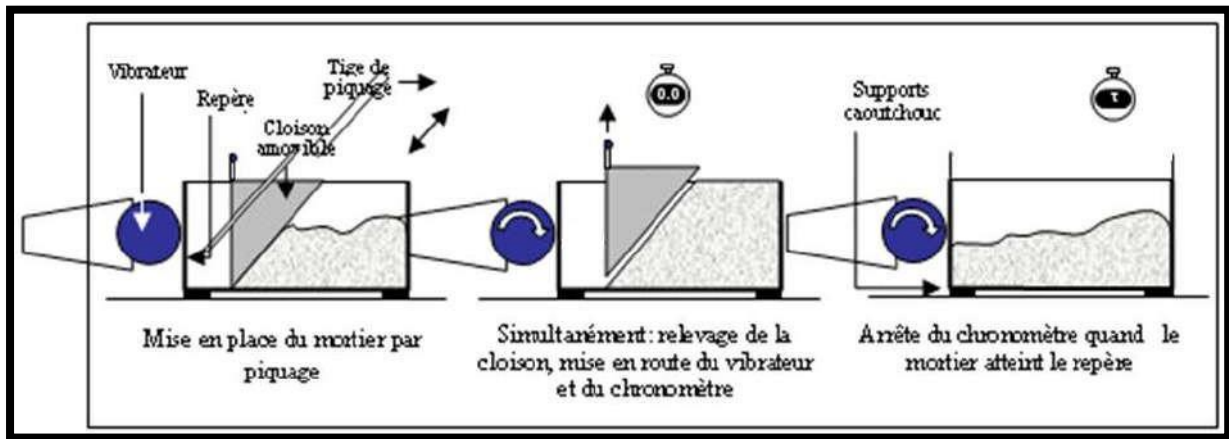


Figure II. 13. Principe de fonctionnement de la maniabilité LCL (B).

IV.1.2. Masse volumique à l'état frais

La masse volumique apparente des mortiers frais, mis en place à la table à chocs, est mesurée par la différence de poids du moule $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ selon la norme [NF EN 196-1, 2006]. Les moules vides (m_1) et pleins (m_2) sont pesés et la masse volumique (ρ) est déduite par la formule suivant. Chaque résultat représente la moyenne de 3 mesures.

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

Où V est le volume du moule.

IV.2. Essais sur mortiers à l'état durci

a) Masse volumique apparente sèche

La masse volumique apparente du mortier durci a été évaluée conformément à la norme [EN 1015-10, 1999], en mesurant la masse sèche d'éprouvettes $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ par l'intermédiaire d'une balance de résolution inférieure au dixième de gramme. Trois échantillons de chaque composition ont été testés après avoir été soumis à un temps de durcissement de 3, 7, 14 et 28 jours.

b) Résistances mécaniques

Il s'agit des essais de la traction par flexion et de la compression effectués selon la norme [NF EN 196-1, 2006] sur les échantillons prismatiques $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ à différentes échéances: 3, 7, 14 et 28 jours.

- Résistance à la traction par flexion

L'essai de la traction par flexion à trois points a été réalisé sur trois échantillons, au minimum, pour chaque mortier étudié. Le dispositif permettant la réalisation de cet essai est une presse hydraulique de type "CONTROLS" de capacité maximale de 100 kN couplée à un ordinateur muni d'un logiciel

de calcul des charges (*Figure II.14.a*). L'essai consiste à soumettre des éprouvettes prismatiques, reposant sur deux appuis à une charge croissante concentrée au milieu, avec une vitesse de chargement constante de 50 N/s jusqu'à la rupture (*Figure II.14.b*). La force à la rupture (F_f) est lue sur l'écran de l'ordinateur. La résistance à la traction par flexion (R_f) est calculée par la formule suivante:

$$R_f = \frac{3F_f \times l}{2b^3}$$

Avec l : distance entre les deux appuis (100mm) ; b : arrête de l'éprouvette (40mm) (*Figure 2.10.c*).

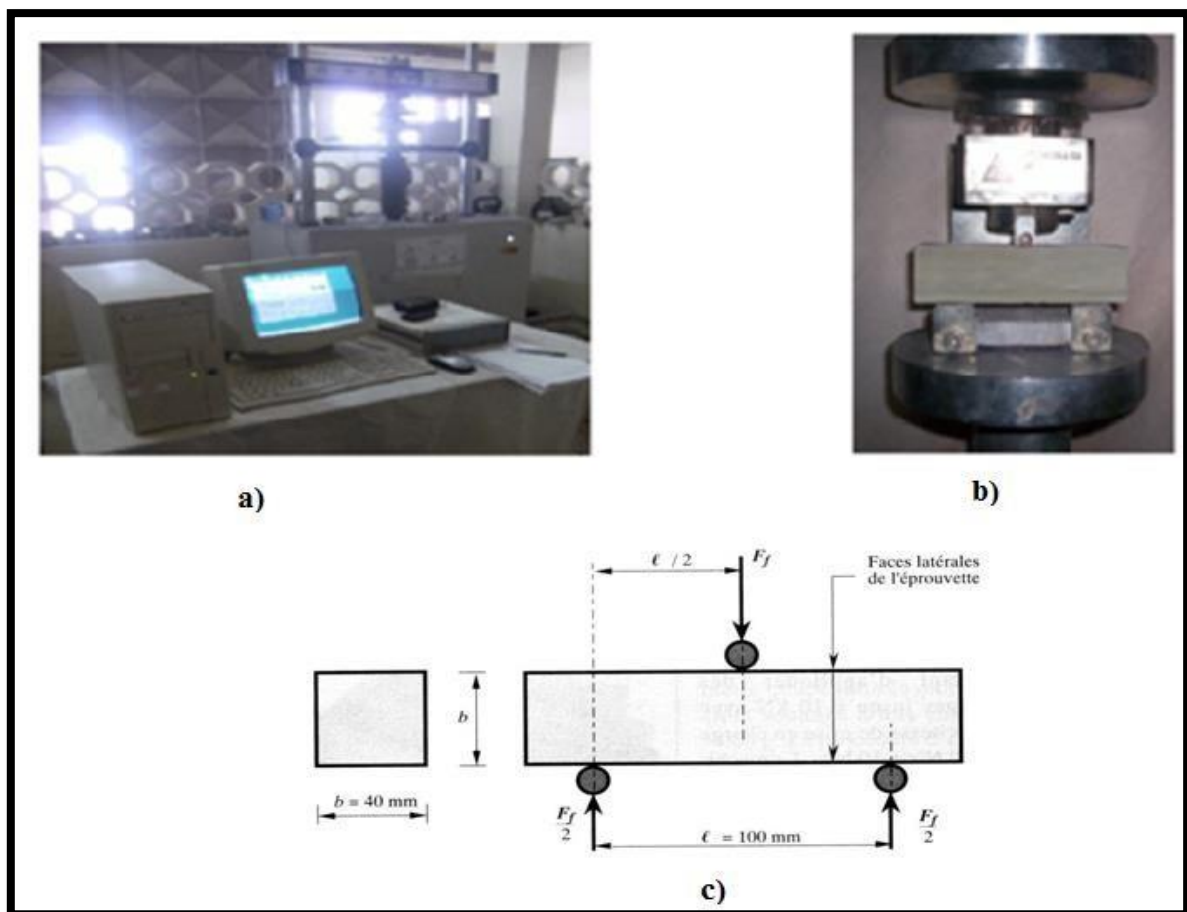


Figure II.14. a) Appareil utilisé pour les essais mécaniques ; b) Dispositif expérimental de mesure de la résistance à la traction par flexion; c) Schéma de la détermination de résistance à la traction par flexion.

- Résistance à la compression

Après l'exécution de l'essai de traction par flexion, chaque éprouvette est coupée transversalement donnant deux demi-éprouvettes de dimensions approximativement égales à $4 \times 4 \times 8 \text{ cm}^3$. La résistance à la compression des mortiers est évaluée sur les six demi-prismes

résultants. Cet essai consiste à placer le demi-prisme entre les deux plaques métalliques disposées de manière à avoir la même projection horizontale et à centrer l'ensemble entre les plateaux de la presse hydraulique précédemment utilisée. Le chargement est effectué à une vitesse constante de 2400N/s jusqu'à rupture (*Figure II.15*).

La charge maximale provoquant la rupture permet de calculer la résistance à la compression (R_c) comme suit:

$$R_c = \frac{F_c}{b^2}$$

Où : F_c : charge de rupture (N); b :arrête de l'éprouvette (40mm) (*Figure II.12.b*).

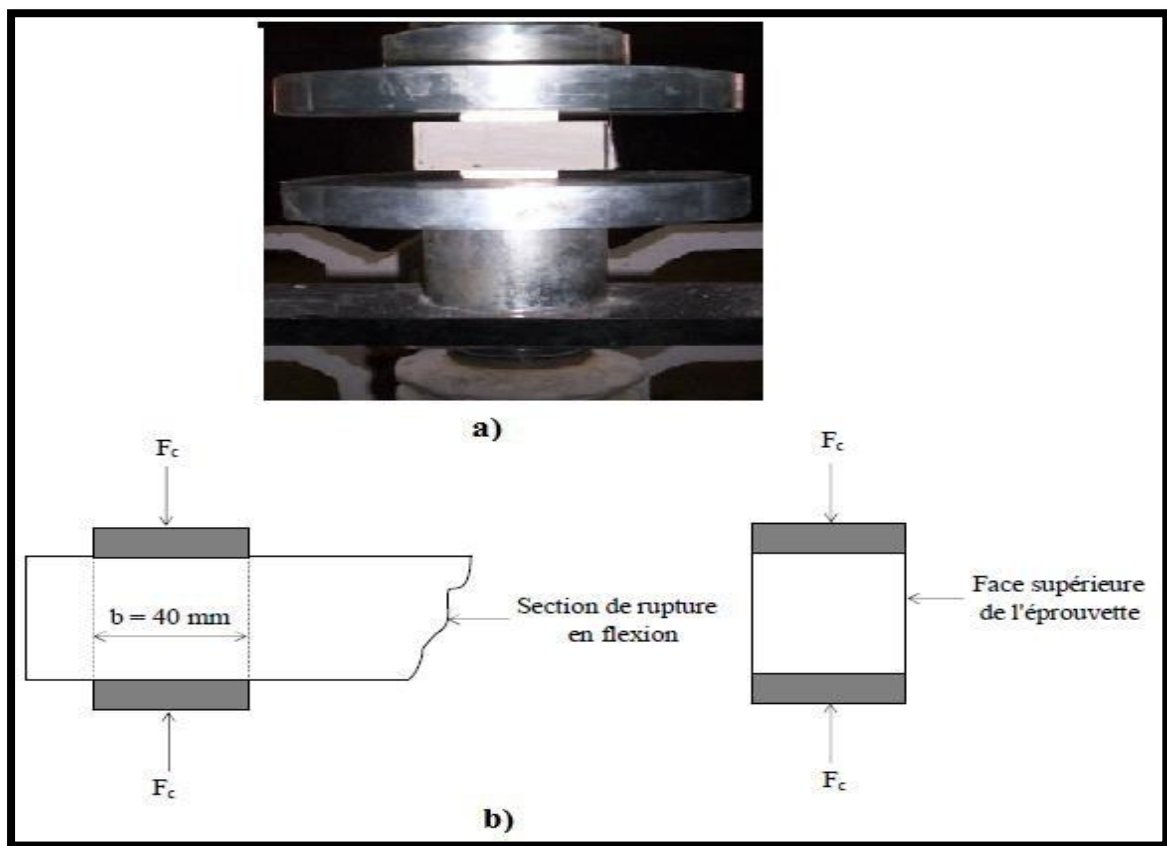


Figure II.15.a) Dispositif expérimental de mesure de la résistance à la compression;

b) Schéma de détermination de la résistance à la compression.

Il convient de noter que l'écart par rapport à la résistance moyenne est de 10% au maximum pour ces deux essais mécaniques.

IV.3. Essai de la durabilité**a) Essai d'absorption d'eau par immersion totale**

L'absorption d'eau par immersion d'un mortier étant définie comme la capacité d'absorption massique exprimée par la quantité d'eau absorbée par une éprouvette de mortier, après son immersion totale dans l'eau durant une période déterminée. L'essai de l'absorption d'eau par immersion permet d'évaluer la porosité ouverte et la perméabilité du mortier [Gomes et de Brito, 2009; Mo et al., 2016]. Cette expérience, réalisée selon la norme belge [NBN B 15-215, 1989], consiste à sécher les éprouvettes 4×4×16 cm³ du mortier de 28 jours de mûrissement dans l'étuve à 105±5°C jusqu'à atteindre une masse sèche constante, puis les immerger totalement dans un bac d'eau à 20°C jusqu'à saturation. Avant la pesée de l'éprouvette, l'eau superficielle est approximativement débarrassée à l'aide d'une éponge. Le gain de masse représente la quantité d'eau absorbée et l'absorption (*Ab*), exprimée en pourcentage, est donc calculée par la relation suivante:

$$Ab \% = \frac{Ma - Ms}{Ms} \times 100\%$$

Avec:

Ma: masse de l'échantillon après la saturation (g).

Ms: masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve (g).

b) Essai d'absorption d'eau par capillarité (sorptivité)

L'absorption capillaire (sorptivité) de mortier désigne l'aptitude d'absorption de l'eau par succion capillaire du mortier non saturé mis en contact avec de l'eau sans pression hydraulique. Cette propriété est quantifiée par le coefficient de sorptivité (*S*). Plus la sorptivité est élevée, plus le matériau est susceptible à être rapidement envahi par le liquide de contact.

L'essai de sorptivité est effectué sur des éprouvettes 4×4×16 cm³ de 28 jours d'âge, préalablement séchées afin d'éliminer l'eau emprisonnée dans les pores capillaires. Les éprouvettes sont posées à ses bases (4×4 cm²) sur des supports dans un baquet, de sorte que seuls les 5 premiers millimètres du bas de l'éprouvette soient immergés, et les faces latérales sont imperméabilisées par un film plastique adhésif pour avoir seulement une surface en contact avec l'eau et assurer une absorption unidirectionnelle à travers la face inférieure de l'éprouvette. La *Figure II.16* représente le schéma de l'essai et la *Figure II.17* représente l'essai. Le niveau d'eau doit être maintenu constant tout au long de l'expérience. Cet essai dure 1 h 30 min et les mesures de l'augmentation en poids sont effectués après 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64 et 81 minutes. À chaque échéance, l'éprouvette est sortie du bac

d'eau, essuyée légèrement avec un chiffon afin d'éliminer la pellicule d'eau superficielle retenue, pesée et puis retournée au récipient. Le coefficient de sorptivité (S) est défini par la formule suivante:

$$S = \frac{Q/A}{\sqrt{t}}$$

Avec : S : Coefficient de sorptivité (mm/s^{0.5}) ; Q: volume de l'eau absorbée (mm³) ;

A : surface en contact avec l'eau (40×40 mm²) ; t: temps écoulé(s).

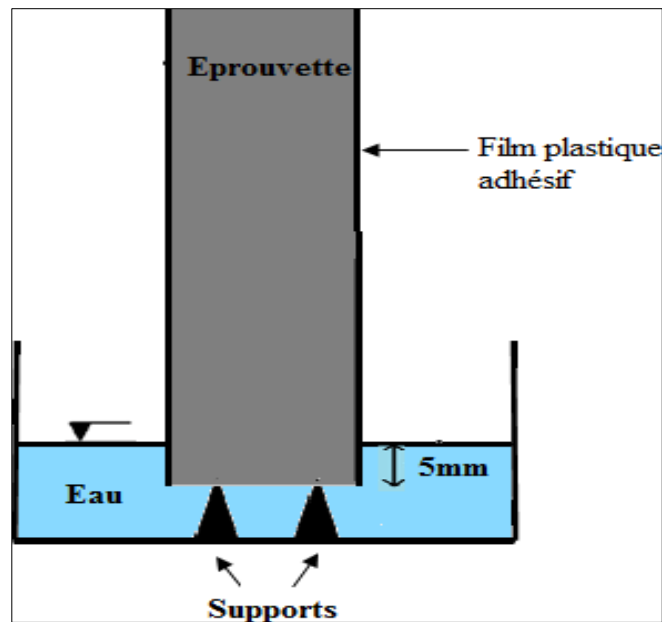


Figure II.16. Principe d'essai de l'absorption capillaire (sorptivité).



Figure II.17. Essai de l'absorption capillaire (sorptivité).

Les résultats de cet essai sur différents mortiers sont présentés en traçant les courbes du taux d'absorption d'eau en fonction de la racine carrée du temps où la sorptivité (S) représente graphiquement la pente de la régression linéaire de (Q/A) en fonction de $\sqrt{t}$.

c) Porosité accessible à l'eau

L'essai est réalisé conformément à la norme [NF EN 18-459] sur des éprouvettes $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ issues du sciage des éprouvettes $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$. La porosité accessible à l'eau est déterminée en pesant la masse d'un corps d'épreuve de mortier après immersion dans l'eau sous vide (pesée hydrostatique) Comme le montre la *figure II.18*, la masse dans l'air libre du même corps d'épreuve imbibé, et enfin la masse du corps après séchage. A partir de ces mesures, nous définissons, par le calcul, la masse volumique apparente et la porosité totale. Les résultats obtenus correspondent à la moyenne de trois essais. La détermination de la masse volumique apparente et de la porosité accessible à l'eau de chaque échantillon se fera par les formules suivantes :

$$\bullet \quad \rho_a = \frac{M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times \rho_{eau}$$

$$\bullet \quad P = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100$$

Avec : M_{air} : Masse de l'échantillon saturée d'eau pesée dans l'air (g) ; M_{sec} : Masse de l'échantillon sèche (g) ; M_{eau} : Masse de l'échantillon saturé d'eau pesée sous l'eau (pesée hydrostatique) (g) ; ρ_{eau} : Masse volumique de l'eau (kg/m^3).



Figure II.18. Essai de Porosité accessible à l'eau et pesée hydrostatique dans laboratoire LCTP DJELFA.

V. Conclusion

Ce chapitre vise principalement à présenter les caractéristiques des matériaux utilisés pour l'élaboration des différents mortiers étudiés à savoir les granulats (sable calcaire et sable de dune) provenant de la région la ville de Laghouat, le polymère latex SIKA, le ciment CEM I 42.5 N-LH/SR5 et le superplastifiant «SikaViscoCreteTEMPO-12», Après avoir caractérisé les matières premières, nous avons présenté les techniques expérimentales utilisées.

A travers ces caractéristiques, nous avons conclu que le sable SC a une masse volumique apparente de 1.49 g/cm^3 et une masse volumique absolue de 2.59 g/cm^3 , tandis que le sable SD a une masse volumique apparente de 1.6 g/cm^3 et une masse volumique absolue de 2.65 g/cm^3 . En termes de compacité, le sable SC a une compacité de 57.53% et une porosité de 42.47%, tandis que le sable SD présente une compacité de 60.37% et une porosité de 39.63%. Concernant l'équivalent visuel (ESV) et au piston (ESP), le sable SC affiche des valeurs de 67.8% et 68.20% respectivement, indiquant un sable propre légèrement argileux, alors que le sable SD montre des valeurs de 87% et 79%, indiquant un sable très propre. Enfin, le coefficient d'absorption d'eau révèle que le sable SC a une absorption de 4.7%, contre seulement 0.4% pour le sable SD.

Ces résultats montrent des différences significatives entre les deux types de sable en termes de densité, compacité, porosité, propreté et coefficient d'absorption d'eau.

Dans le chapitre suivant seront présentés les résultats obtenus et les analyses de ces résultats.

CHAPITRE 3 : *Analyse et discussion des résultats*

I. Introduction

Ce chapitre est consacré à l'analyse et à l'interprétation des résultats d'un programme expérimental, qui a comme but, l'étude de l'effet de différentes combinaisons des sables calcaires et de dune en présence de polymère latex sur le comportement physico-mécanique aux états frais et durci et sur la durabilité des mortiers étudiés.

Les essais physico-mécaniques ont été effectués au sein du laboratoire de département de génie civil à l'Université de Laghouat. Nous présentons dans ce chapitre les résultats des différents essais effectués sur deux séries des mortiers confectionnés, la première sans latex (mortiers cimentaires classiques) et la deuxième avec un rapport P/C de 5% et des combinaisons des sables locaux (sable calcaire, sable de dune). Les taux de la substitution du sable calcaire par le sable de dune, en pourcentage massique, sont : 0, 10, 20 et 30 %.

II. Propriétés des mortiers étudiés à l'état frais

II.1. Maniabilité

Dans la *Figure III.1*, nous avons étudié les essais de maniabilité sur huit mélanges de mortier, quatre sans polymère latex et quatre avec polymère latex où le rapport P/C est de 5%. Ces mélanges variaient selon la proportion du sable calcaire et du sable dunaire, allant de 100% de sable calcaire à un mélange contenant 70% de sable calcaire et 30% de sable de dune.

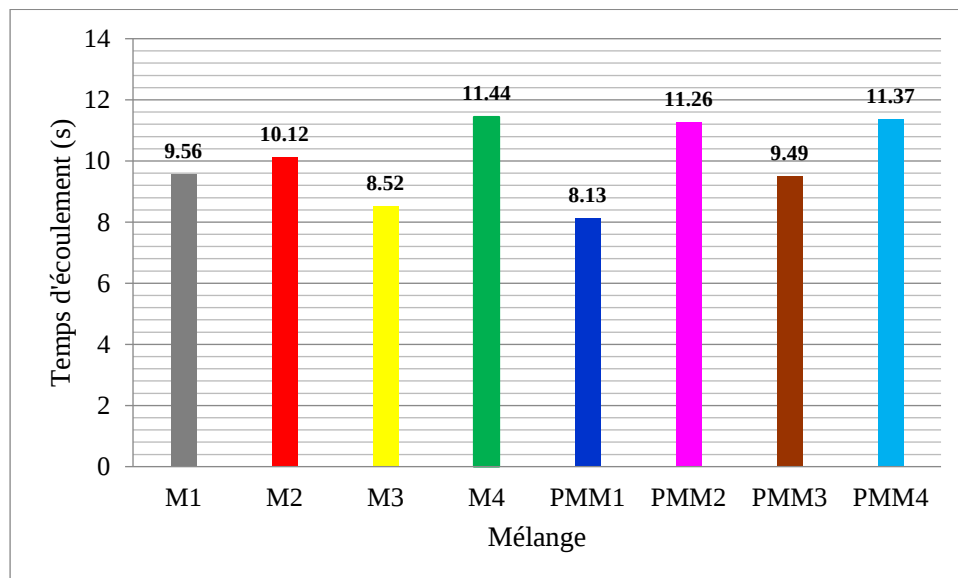


Figure III.1. Variation du temps d'écoulement en fonction des mélanges mortiers.

Les résultats montrent une influence notable de la composition du mélange sur le temps d'écoulement, un indicateur clé de la maniabilité des mortiers.

L'ajout modéré du sable de dune semble améliorer la maniabilité, comme le suggèrent les résultats de M1 à M3, où le temps d'écoulement diminue avec l'augmentation du sable de dune jusqu'à 20%.

Toutefois, une proportion plus élevée de 30% dans le mélange M4 réduit la maniabilité, probablement en raison de la granulométrie et de la compacité inférieures du sable de dune, comme l'illustrent les caractérisations des sables utilisés. D'autre part, l'introduction de polymère latex a amélioré la maniabilité dans tous les mélanges, en particulier avec des proportions plus faibles de sable de dune (PMM1), ce qui est conforme aux effets plastifiants des polymères observés dans des études telles que celles de Kashani et al. [Kashani et al., 2017].

Cependant, les mélanges avec des proportions plus élevées de sable de dune, même avec l'ajout de polymère, montrent une légère augmentation du temps d'écoulement, ce qui souligne l'importance de l'équilibre dans la composition du mélange. Ces observations sont soutenues par la littérature, notamment les recherches de Mindess et Young, qui ont démontré l'impact de la granulométrie sur la maniabilité des mortiers [Mindess & Young., 2003].

L'analyse des résultats trouvés indique que la maniabilité des mélanges cimentaires peut être optimisée par un équilibre judicieux entre les types de sable et l'ajout du polymère latex. Des expériences futures devraient explorer différentes proportions de polymère et d'autres types de polymères pour évaluer plus précisément leur impact sur la maniabilité et les propriétés mécaniques des mélanges. Cette approche pourrait fournir des informations précieuses pour les applications pratiques dans le domaine de la construction.

II.2. Masse volumique à l'état frais

L'analyse de la densité à l'état frais des mélanges de mortier avec ou sans polymère latex, illustrée dans la *Figure III.2*.

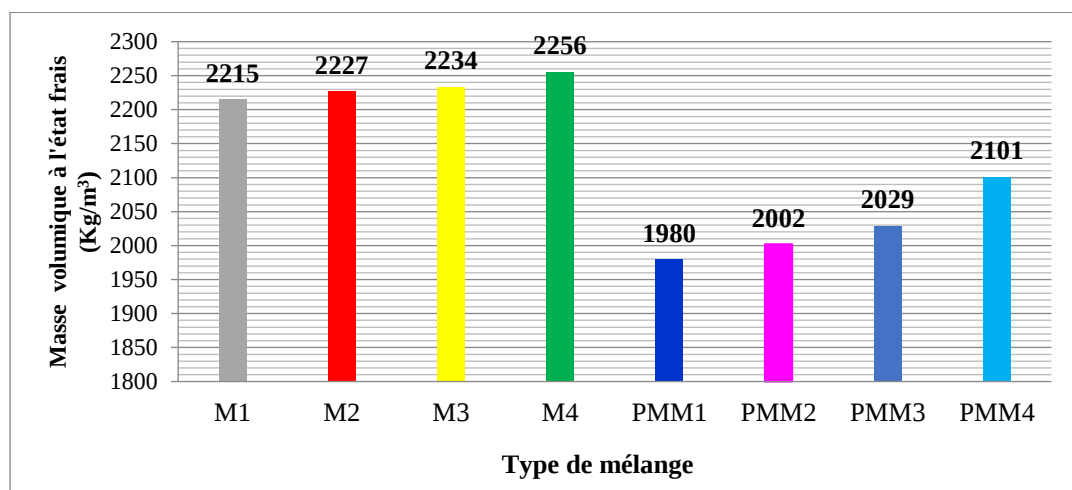


Figure III.2. Influence des sables et du polymère sur la masse volumique des mortiers à l'état frais.

Les résultats montrent que l'ajout de polymère latex réduit cette densité. Cette observation est en accord avec les résultats de diverses études qui indiquent que les polymères, comme le latex, peuvent

introduire des structures microscopiques aérées dans le mortier, augmentant ainsi la porosité et réduisant la densité globale du mélange. Par exemple, une étude sur les effets du latex SBR a montré des augmentations significatives de la résistance à la compression et à la traction tout en notant une légère diminution de la densité [Aziz et al., 2023]. Les recherches mettent également en évidence que les polymères améliorent la maniabilité et d'autres propriétés mécaniques du béton, telles que la durabilité, en réduisant le contenu en eau nécessaire et en augmentant la cohésion. Les résultats obtenus concernant l'augmentation de la densité avec l'ajout de sable de dune dans les mélanges sans polymère sont conformes aux normes de l'industrie et aux recherches sur les effets de la granulométrie sur la densité du mortier.

L'augmentation de la masse volumique observée dans les mélanges M1 à M4 peut être en partie attribuée à la substitution progressive du sable calcaire par le sable de dune. La finesse du sable de dune permet une meilleure compaction et un remplissage plus efficace des espaces entre les agrégats, ce qui augmente la densité des mélanges. De plus, la faible absorption d'eau du sable de dune signifie que moins d'eau est retenue par le sable, augmentant potentiellement la densité du mortier frais.

L'effet du latex polymère sur la réduction de la masse volumique peut également être influencé par la nature des sables utilisés. Le polymère latex peut interagir différemment avec les fines particules du sable de dune, potentiellement en augmentant la porosité et en réduisant la densité à travers des mécanismes d'aération ou de modification de la distribution des particules.

III. Propriétés des mortiers à l'état durci

III.1. Masse volumique apparente

L'étude de la masse volumique des mortiers à l'état durci est essentielle pour comprendre leur densité et leur comportement mécanique au fil du temps. La variation de la masse volumique des huit mélanges de mortiers en fonction de l'âge a été présentée dans la *Figure III.3*.

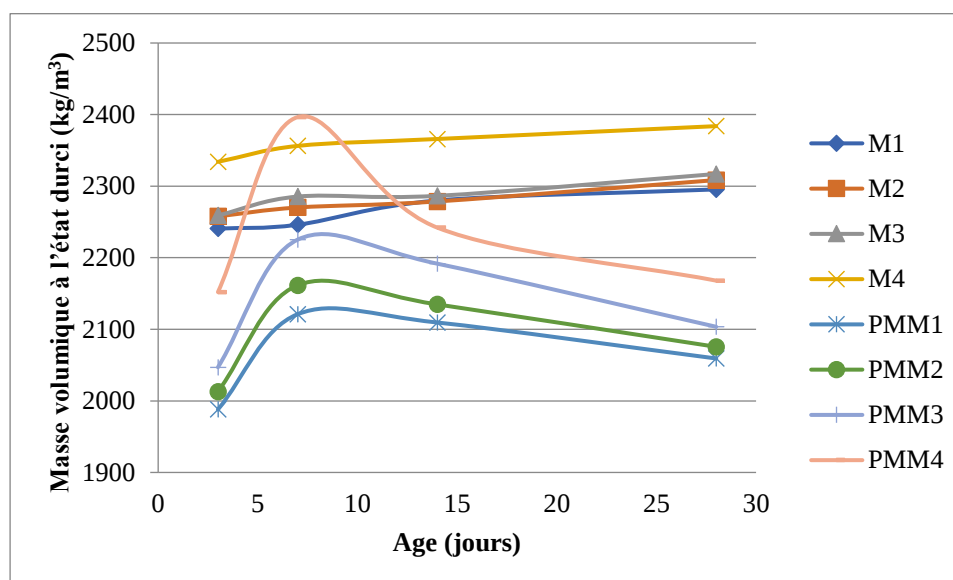


Figure III.3. Variation des masses volumiques à l'état durci en fonction de temps.

Pour les mélanges ordinaires sans polymère latex, le mélange M1 montre une masse volumique qui augmente progressivement jusqu'à atteindre 2295 kg/m³ à 28 jours. De plus, le mélange M2 présente une tendance similaire, atteint une masse volumique légèrement inférieure de 2309 kg/m³, et les mortiers M3 et M4 présentent des valeurs intermédiaires, avec le mortier M4 atteignant la plus haute densité à 2284 kg/m³ à 28 jours. Cela suggère que l'augmentation de la proportion de sable de dune améliore la densité des mortiers cimentaires sans latex polymère.

Pour les mortiers modifiés au polymère latex, les tendances sont également intéressantes. Les mélanges PMM1 et PMM2 montrent une augmentation relativement de la masse volumique, atteignant respectivement 2059 kg/m³ et 2076 kg/m³ à 28 jours, tandis que les mélanges PMM3 et PMM4 montrent une augmentation similaire, et présentant des valeurs plus basses, avec le mélange PMM4 atteignant seulement 2168 kg/m³ à 28 jours. L'ajout de polymère latex semble donc influencer positivement la densité des mortiers, mais cette influence varie selon la proportion de sable de dune.

Des études antérieures appuient ces résultats. Benali et Ghomari [Benali et Ghomari., 2017] ont montré que l'ajout de polymère latex peut augmenter la densité des mortiers en améliorant leur cohésion interne et en réduisant les vides. Ramli et al [Ramli et al., 2013] ont observé que les mortiers avec une granulométrie plus fine, comme celle du sable de dune, présentent une densité plus élevée. Rashid et al [Rashid et al., 2015] ont également noté que les polymères améliorent la densité apparente des mortiers en réduisant les vides internes.

Brièvement, les résultats obtenus indiquent que la masse volumique des mortiers peut être optimisée par l'introduction de sable de dune et de polymère latex. Ces modifications améliorent la densité et, par conséquent, les propriétés mécaniques des mortiers, ce qui est essentiel pour des

applications nécessitant une haute résistance et durabilité. Les conclusions sont cohérentes avec les études antérieures, soulignant l'importance de la composition granulaire et de l'ajout de polymère latex dans l'amélioration des propriétés des mortiers.

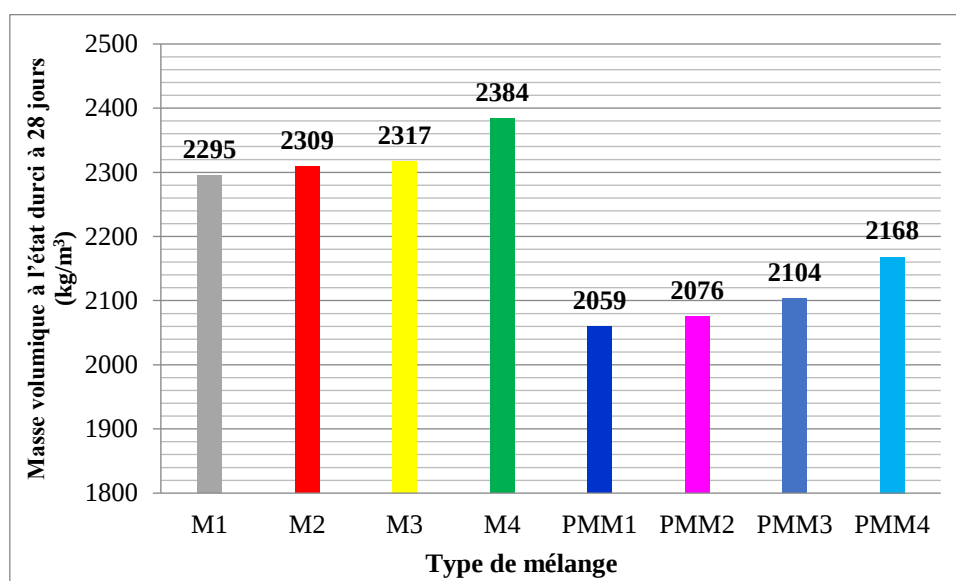


Figure III.4. Masse volumique à l'état durci des mortiers testés à 28 jours.

L'étude de la masse volumique des mortiers à l'état durci est cruciale pour évaluer leur densité et leurs propriétés mécaniques, essentielles pour diverses applications. Les résultats présentés dans la *Figure III.4* ont montré des variations significatives de la masse volumique à 28 jours pour les huit mélanges de mortiers élaborés les mélanges ordinaires (sans polymère), tels que M1 à 2295 kg/m³ et M4 à 2384 kg/m³, montrent des masses volumiques élevées, suggérant une meilleure compaction et une réduction des vides internes, particulièrement avec l'ajout de sable de dune. En revanche, les mélanges avec latex polymère présentent des masses volumiques fortement inférieures (PMM1 à 2059 kg/m³ et PMM4 à 2168 kg/m³), montrent une amélioration de la cohésion des particules, augmentant la densité et réduisant les vides internes.

Alors, l'introduction du sable de dune et de polymère optimise la masse volumique des mortiers, améliorant ainsi leurs propriétés mécaniques et leur durabilité, comme le confirment des études antérieures. Ces résultats orientent les futures recherches et conduisent vers l'utilisation combinée de ces matériaux pour des performances optimales.

III.2. Propriétés mécaniques des mortiers étudiés

Les résultats des résistances à la traction par flexion et à la compression des mortiers étudiés à différents âges sont regroupés dans le *Tableau III.1*.

Mortiers			Résistance à la traction par flexion (MPa)				Résistance à la compression (MPa)			
			3 j	7 j	14 j	28 j	3 j	7 j	14 j	28 j
Sans Latex	100 SC	M1	6.48	7.25	7.35	7.89	20.16	23.98	33.84	36.96
	90 SC 10 SD	M2	6.51	7.30	7.51	8.12	20.71	25.87	33.98	37.05
	80 SC 20 SD	M3	6.58	8.03	8.89	9.43	23.35	27.60	34.27	38.51
	70 SC 30 SD	M4	7.14	8.66	9.59	9.92	23.68	28.71	37.82	42.92
Avec Latex	100 SC	PMM1	4.61	6.48	6.55	8.10	13.42	21.06	27.51	32.83
	90 SC 10 SD	PMM2	4.84	7.21	7.70	8.96	14.22	22.02	28.03	33.54
	80 SC 20 SD	PMM3	5.38	7.37	7.86	9.59	14.94	22.39	33.25	35.13
	70 SC 30 SD	PMM4	5.90	7.51	7.65	9.73	16.34	25.80	34.46	36.70

Tableau III.1. Résistances mécaniques des mortiers étudiés

III.2.1. Résistance à la traction par flexion

La Figure III.5 montre la résistance à la traction par flexion des différents mortiers au fil du temps, divisés en deux groupes : ceux sans latex polymère (M1 à M4) et ceux avec polymère latex (PMM1 à PMM4).

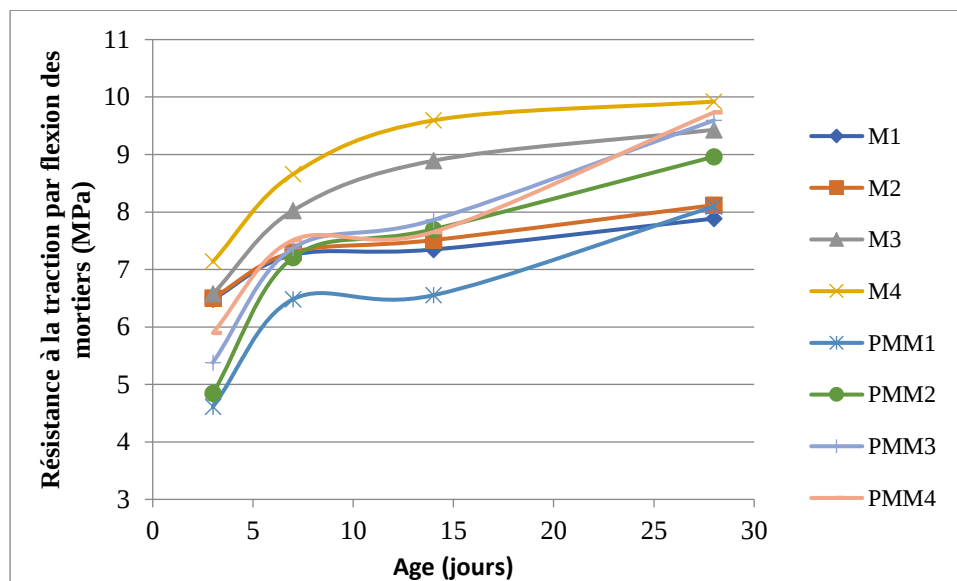


Figure III.5. Résistance à la traction par flexion des mortiers étudiés en fonction de temps.

Pour les mortiers cimentaires classiques, on observe que le mélange M1, composé à 100% de sable calcaire (SC), présente une résistance initiale faible (6.48 MPa) à 3 jour, augmentant relativement pour

atteindre environ 7.89 MPa à 28 jours. L'ajout de 10% de sable de dune (SD) dans le mélange M2 améliore légèrement la résistance initiale (6.51 MPa) et atteint environ 8.12 MPa à 28 jours. En outre, le mélange M3, avec 20% de SD, montre une résistance initiale d'environ 6.58 MPa et atteint près de 9.43 MPa à 28 jours, et le mortier M4, contenant 30% de SD, présente la meilleure performance avec une résistance initiale de 7.14 MPa et environ 9.92 MPa à 28 jours.

Les mortiers modifiés au polymère latex montrent des résistances initiales plus faibles mais une augmentation plus stable à 28 jours. Le mélange PMM1, avec 100% de SC, commence à environ 4.61 MPa et atteint environ 8.10 MPa à 28 jours. Le mélange PMM2, avec 10% de SD, montre une amélioration relativement, atteignant environ 8.96 MPa à 28 jours, tandis que le mélange PMM3, avec 20% de SD, présente une résistance initiale d'environ 5.38 MPa et atteint environ 9.59 MPa à 28 jours. De plus, le mélange PMM4, avec 30% de SD, offre la meilleure performance parmi les autres PMMs, avec une résistance initiale d'environ 5.90 MPa et environ 9.73 MPa à 28 jours.

L'ajout de sable dunaire améliore significativement la résistance à la traction par flexion des mortiers, tant pour les mortiers cimentaires que pour ceux avec polymère latex, les meilleures performances étant observées avec une proportion de 30% de sable de dune. Les mortiers avec polymère latex présentent une résistance initiale plus faible mais une augmentation plus stable de la résistance à long terme, attribuée aux propriétés flexibles et durables du polymère latex. Les mortiers cimentaires classiques montrent des résistances finales légèrement supérieures, mais les PMMs offrent des avantages en termes de flexibilité, essentiels pour certaines applications.

Ces résultats sont supportés par des recherches antérieures. Ohama (1995), Wang et al. (2005), et Benali et Ghomari (2017) fournissent des bases solides pour comprendre les effets des modifications par polymères et des différentes granulométries sur les propriétés mécaniques des mortiers.

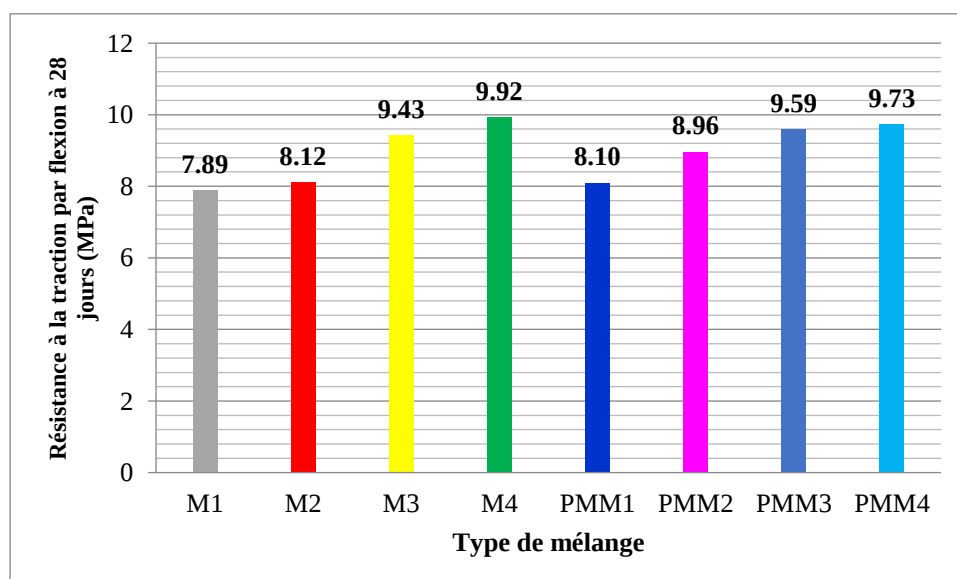
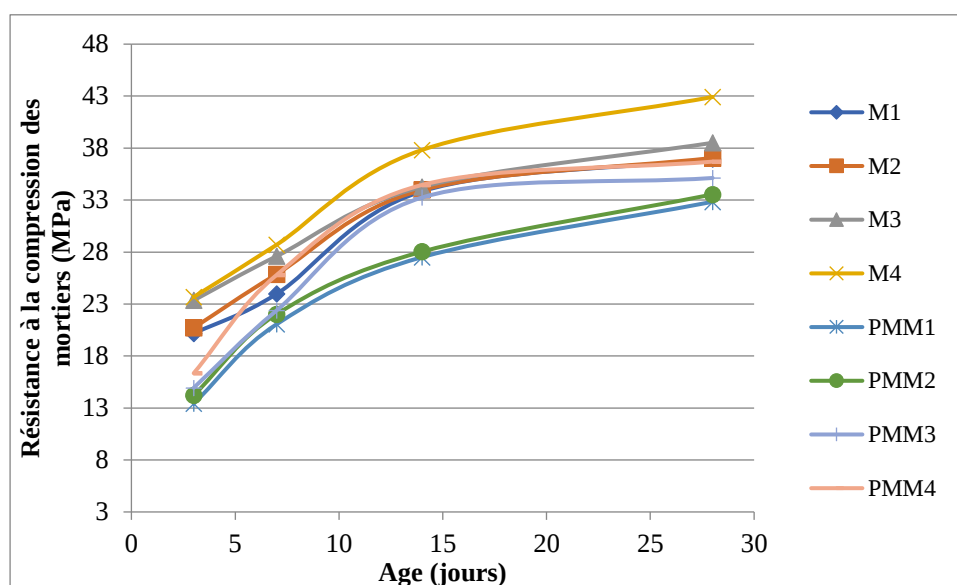


Figure III.6. Résistance à la traction par flexion des mortiers étudiés à 28 jours.

L'analyse des résultats dans la *Figure III.6* montre que l'ajout de sable de dune et de polymère latex améliore significativement la résistance à la traction par flexion des mortiers à 28 jours de durcissement. Le sable de dune, avec une granulométrie plus fine et une meilleure compacité (60.37% à l'opposé de 57.53% pour le sable calcaire), réduisent la porosité et augmentent la densité, ce qui améliore la résistance mécanique [Liu et al., 2013]; [Van Gemert et Beeldens, 2013]. Les mélanges contenant du polymère latex présentent des résistances accrues, de 8.10 MPa à 9.73 MPa, par rapport aux mélanges à base de ciment (7.89 MPa à 9.92 MPa), confirmant l'effet bénéfique du polymère latex sur la flexibilité et l'adhésion [Ohama, 1995]; [Birchall et al., 1981]; [Beeldens et al., 2005].

III.2.2. Résistance à la compression

La *Figure III.7* montre l'évolution de la résistance à la compression des différents mortiers (M1, M2, M3, M4, PMM1, PMM2, PMM3, PMM4) au cours des premiers 28 jours.

**Figure III.7.** Résistance à la compression des mortiers étudiés en fonction de temps.

Tous les mortiers voient leur résistance augmenter avec le temps, atteignant presque une stabilisation après 14 jours. Le mortier M4 présente la résistance la plus élevée (42.92 MPa), tandis que les mélanges M1, M2, et M3 montrent des performances similaires autour de 36 à 39 MPa. Concernant les PMM, le mélange PMM4 présente également la résistance la plus élevée (36.70 MPa), tandis que les mélanges PMM1, PMM2, et PMM3 présentent des résistances légèrement inférieures, entre 32 à 36 MPa. De plus, les mélanges M1 et M2 gagnent rapidement des résistances initiales.

L'augmentation du pourcentage de sable de dune (SD) dans les mélanges de mortier, combinée à l'ajout de polymère latex, conduit à une amélioration de la résistance à la compression. Le sable de dune, avec sa propreté élevée et sa meilleure compacité, comble les interstices entre les particules de

sable calcaire (SC), réduisant la porosité et augmentant la densité du mélange [Folic et Radonjanin., 1998]. Le polymère latex améliore l'adhérence et la flexibilité, renforçant la cohésion et la résistance du mortier [Ohama., 1995, 1998; Birchall et al., 1981; Wang et al., 2005]. Même avec des proportions croissantes de SD, les mortiers avec latex montrent une résistance accrue grâce à l'amélioration de ses caractéristiques [Liu et al., 2013]. Ces résultats, soutenus par des études antérieures, offrent des perspectives pour l'optimisation des mélanges de mortier pour des applications de construction spécifiques.

Les PMMs présentent une amélioration significative de la résistance, compensant les effets négatifs du sable calcaire. Ohama [Ohama., (1995, 1998)] et Birchall et al [Birchall et al.,1981] ont démontré que le polymère latex améliore l'adhérence et la flexibilité, tandis que Wang et al. [Wang et al.,2005] ont montré un gain de résistance précoce grâce au polymère latex. Folic et Radonjanin (1998) ont souligné l'importance de la distribution granulométrique, confirmant que les sables plus fins comme le sable de dune augmentent la résistance. Les études de Liu et al. [Liu et al., 1981] et Diab et al [Diab et al., 1981] soutiennent que la combinaison de différents types de sable peut optimiser les propriétés mécaniques des mortiers.

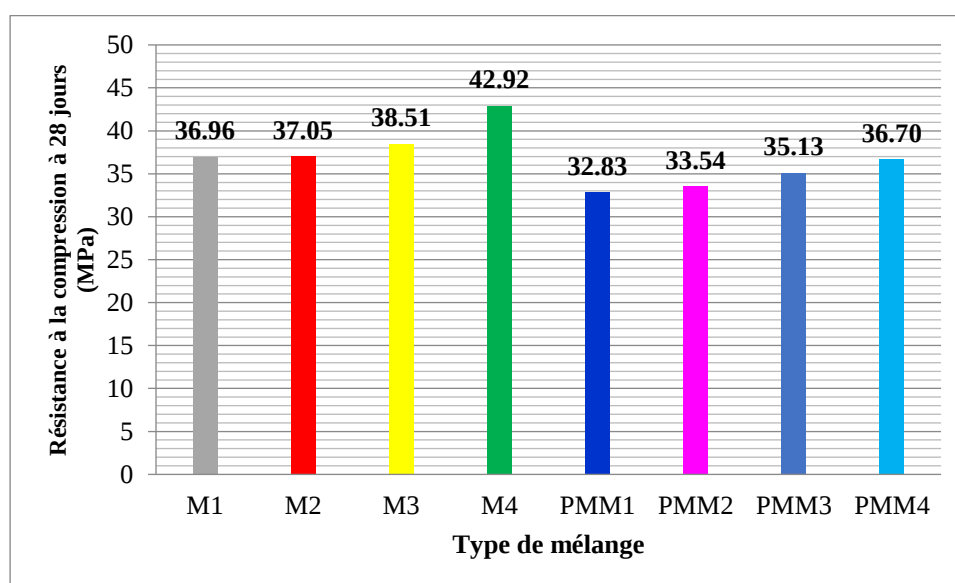


Figure III.8. Résistance à la compression à 28 jours des mortiers étudiés.

Les résultats de la *Figure III.8* montrent que l'ajout du sable de dune améliore la résistance à la compression des mortiers, notamment pour les mélanges à base de ciment (M1 à M4). Le mélange M4, avec 30% de sable de dune, atteint 42.92 MPa, confirmant les conclusions de Zhong et Chen [Zhong et Chen., 2002] sur les avantages d'une meilleure granulométrie et compacité sur les avantages des polymères latex sur la résistance à la compression. Pour les mélanges modifiés au polymère latex (PPM1 à PPM4), la résistance à la compression est légèrement réduite par rapport les mélanges (M1 à M4), bien que l'augmentation du sable de dune montre une tendance à l'amélioration de résistance à la

compression. L'incorporation de polymère latex, comme étudié par Ohama [Ohama., 1995] et Beeldens et al [Beeldens et al., 2005] peut réduire la résistance à la compression à court terme tout en améliorant d'autres propriétés mécaniques. Cette interprétation est soutenue par des études de Wang et al, Birchall et al, Ohama et Kan, Folic et Radonjanin, Diab et al, Van Gemert et Beeldens, et Liu et al [Wang et al., 2005 ; Birchall et al., 1981 ; Ohama et Kan., 1982 ; Folic et Radonjanin., 1998 ; Diab et al., 2014 ; Van Gemert et Beeldens., 2013 ; Liu et al., 2013].

IV. Influence des sables locaux sur la durabilité des mortiers testés

IV.1. Absorption totale par immersion des mortiers à 28 jours

L'analyse des données de l'absorption totale par immersion des mortiers à 28 jours, présentées dans la *Figure III.9*, montre des résultats significatifs pour les huit mélanges testés, répartis en deux catégories.

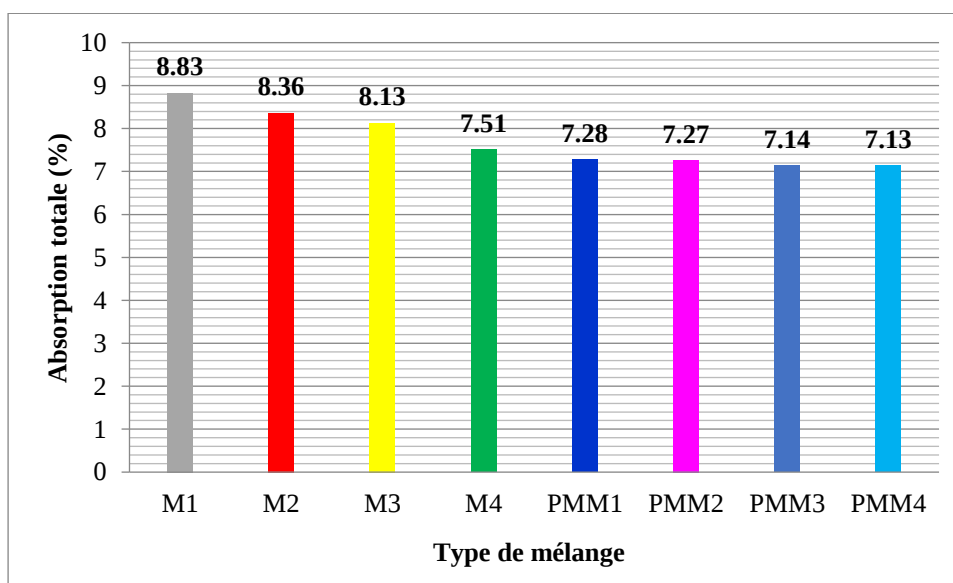


Figure III.9. Effet de l'addition des sables et du latex sur l'absorption d'eau des mortiers.

Les mortiers sans polymère latex présentent une absorption plus élevée, avec M1 (100% SC) atteignant 8,83%, montrant ainsi le taux le plus élevé parmi tous les mélanges. L'introduction progressive du sable de dune réduit l'absorption d'eau ; le mélange M2 (90% SC, 10% SD) montre une absorption de 8,36%, M3 (80% SC, 20% SD) à 8,13%, et M4 (70% SC, 30% SD) à 7,51%. Ces résultats montrent que l'augmentation de la proportion de sable de dune, qui contient des particules plus fines et une porosité potentiellement plus faible, réduit la porosité totale du mélange et, par conséquent, l'absorption d'eau par immersion totale.

En ce qui concerne les PMMs, les résultats indiquent une absorption significativement plus faible comparée aux mortiers de ciment (sans polymère). Le mélange PMM1 (100% SD) montre une absorption de 7,28%, déjà notablement plus faible que celle du mélange M1, et le mélange PMM2 a

une absorption très similaire à celle du mélange PMM1 avec 7,27% ; tandis que le mélange PMM3 voit une légère diminution de l'ordre de 7,14%, et le mélange PMM4 atteint l'absorption la plus faible de 7,13%. Ces résultats montrent que le polymère latex améliore les propriétés d'imperméabilité des mortiers, réduisant les espaces poreux accessibles à l'eau. L'intégration du sable de dune en combinaison avec le polymère latex optimise la performance des mortiers en réduisant leur absorption d'eau, ce qui est crucial pour la durabilité des structures en béton exposées à l'humidité. En conclusion, pour des applications nécessitant une faible absorption d'eau, un mélange de 70% SC et 30% SD avec l'ajout de polymère latex est recommandé pour obtenir des performances optimales.

IV.2. Absorption capillaire d'eau (sorptivité)

Les données concernant l'absorption capillaire d'eau par unité de surface des mortiers testés sont exprimées en fonction de la racine carrée du temps, tel que visualisé dans la *Figure III.10*. Les valeurs des coefficients de sorptivité (S), calculées à partir des pentes des régressions linéaires de chaque courbe, sont répertoriées dans le *Tableau III.2*.

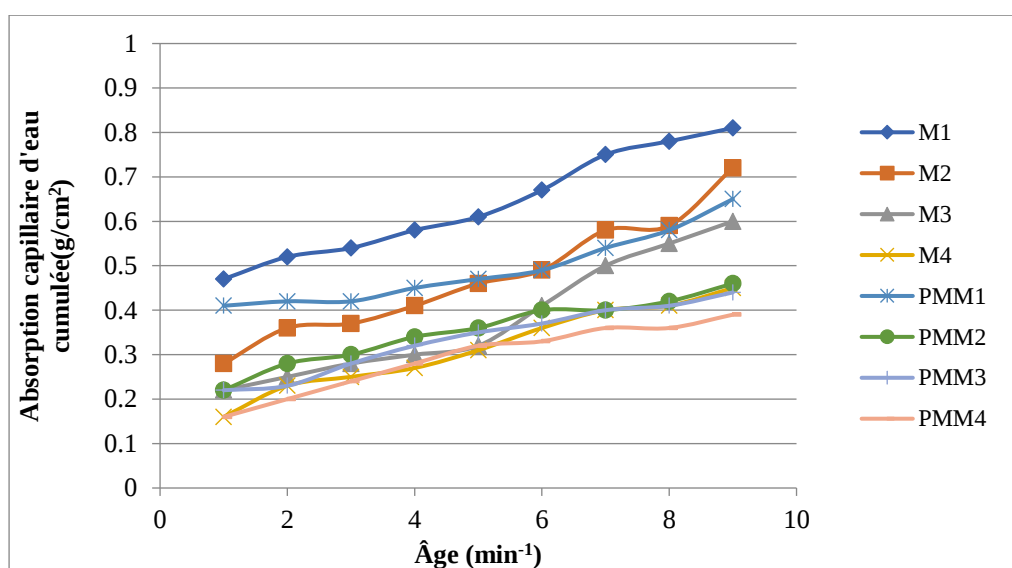


Figure III.10. Évolution de l'absorption d'eau par capillarité en fonction la racine carrée du temps des mortiers étudiés.

La *Figure III.10* montre que l'ajout du sable de dune et du polymère latex réduit significativement l'absorption d'eau des mortiers. Les mortiers sans latex polymère (M1 à M4) présentent une absorption capillaire d'eau plus élevée, atteignant environ 0.75 g/cm² pour M1 après 10 jours. L'ajout de sable de dune réduit cette absorption, pour le mortier M4 (30% SD) montrant la plus faible absorption parmi les mélanges sans latex, confirmant les conclusions de Zhong et Chen [Zhong et Chen, 2002] . Les mortiers avec polymère latex (PMM1 à PMM4) présentent une absorption d'eau encore plus faible, en raison des propriétés hydrophobes du polymère. Le mélange PMM4 montre la plus faible absorption d'eau de tous les mélanges, environ 0.2 g/cm² après 10 jours, indiquant l'effet synergique du sable de

dune et du polymère latex pour améliorer l'imperméabilité, comme étudié par Ohama [Ohama, 1998] , Beeldens et al. [Beeldens et al., 2005] .

Tableau III.2. Coefficient de sorptivité des mortiers

N° de compositions	M1	M2	M3	M4	PMM1	PMM2	PMM3	PMM4
Coefficient de sorptivité ($10^{-2} \cdot \text{g}/\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$)	4.42	4.92	4.95	3.48	2.87	2.73	2.85	2.82

IV.3. Porosité des mortiers étudiés à 28 jours

la Figure III. 11 présenté l'effet du sable local et du latex polymère sur la porosité des mortiers étudiés.

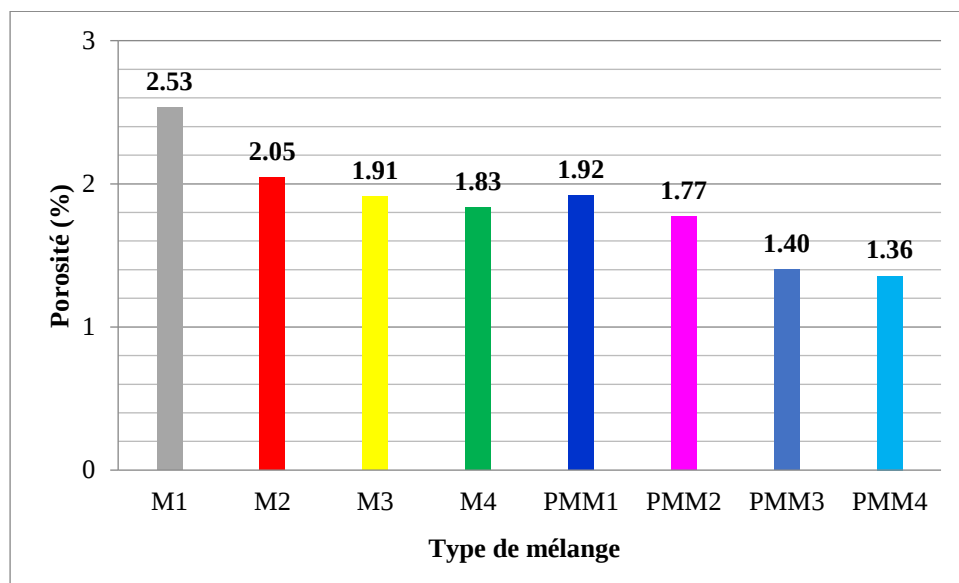


Figure III.11. L'impact de l'addition des sables et du latex sur la porosité des mortiers.

L'étude de la porosité des mortiers est cruciale pour évaluer leurs propriétés mécaniques et leur durabilité, influençant directement la perméabilité, la résistance au gel-dégel et la durabilité globale. Les résultats montrent la porosité des mortiers sans latex polymère, le mélange M1 présente la porosité la plus élevée qui est de l'ordre de 2.53%, en raison de l'utilisation exclusive du sable calcaire, caractérisé par sa nature granulaire et sa faible cohésion interne. Les mélanges M2 à M4 montrent une réduction progressive de la porosité de 2.05 à 1.83%, attribuée à l'introduction du sable de dune, dont sa granulométrie fine comble les vides entre les particules de sable calcaire. Pour les PMMs, la porosité diminue également de manière progressive de 1.92 à 1.36%, l'ajout de polymère latex améliore la microstructure du mortier et augmente sa compacité. Le mélange PMM4, avec une porosité de 1.36%, présente la combinaison la plus optimale de sable de dune et de polymère latex, réduisant significativement la porosité du PMM.

Des études antérieures corroborent ces observations. Benali et Ghomari [Benali et Ghomari, 2017] ont démontré que l'ajout de latex polymère réduit la porosité des mortiers en augmentant la compacité et en améliorant l'adhésion entre les particules. De plus, Ramli et al. [Ramli et al., 2013] ont observé une réduction similaire de la porosité avec des mélanges incluant du sable de dune, soulignant l'effet bénéfique de granulométrie fine dans les mélanges de mortier.

En conclusion, les résultats obtenus démontrent que la porosité des mortiers peut être efficacement réduite par l'introduction de sable de dune et de polymère latex, améliorant ainsi la compacité et la durabilité des mortiers, ce qui est crucial pour des applications nécessitant une haute résistance et une faible perméabilité. Ces conclusions sont en accord avec les études précédentes, soulignant l'importance de la composition granulaire et de l'ajout de polymère dans l'amélioration des propriétés des mortiers.

V. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté et analysé les résultats des essais physiques et mécaniques et de durabilité effectuée sur des mortiers classiques et des mortiers modifiés au polymère latex, en étudiant l'influence du sable calcaire et du sable de dune sur diverses propriétés des mortiers étudiés. Les conclusions principales peuvent être résumées comme suit :

- Les essais de maniabilité ont montré que l'ajout de sable de dune jusqu'à 20% améliore la maniabilité des mortiers, tandis qu'une proportion plus élevée (30%) tend à la diminuer.
- L'introduction de polymère latex a amélioré la maniabilité dans tous les mélanges, en particulier avec des proportions plus faibles de sable de dune.
- L'ajout de polymère latex réduit la densité fraîche des mortiers en raison de l'introduction de structures microscopiques aérées.
- L'augmentation de la proportion de sable de dune dans les mélanges classiques sans polymère augmente la densité en raison de sa densité élevée et sa granulométrie et sa forme arrondi.
- Les résistances à la traction par flexion et à la compression des mortiers ont été significativement améliorées par l'ajout de sable de dune et de polymère latex.
- Les meilleurs résultats en termes de résistance ont été observés pour les mélanges contenant 30% de sable de dune, tant pour les mortiers sans polymère latex que pour ceux avec polymère.
- L'absorption d'eau par immersion totale et par capillarité a été réduite par l'ajout de polymère latex et de sable de dune, améliorant ainsi l'imperméabilité et la durabilité des mortiers.
- La porosité des mortiers a également été réduite par ces ajouts, ce qui améliore leur résistance au gel-dégel et leur durabilité globale.

En conclusion, l'intégration de sable de dune et de polymère latex dans les mélanges permet d'optimiser leurs propriétés physiques et mécaniques, tout en améliorant leur durabilité. Ces résultats sont cohérents avec les études précédentes et ouvrent des perspectives pour des recherches futures visant à affiner les proportions et types de polymères utilisés pour des applications spécifiques dans le domaine de la construction.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a permis d'étudier l'influence des sables locaux sur les propriétés physico-mécaniques et la durabilité des mortiers modifiés au polymère latex, en se concentrant sur les sables calcaires concassés et de dunes disponibles dans la région de Laghouat. Les résultats obtenus ont permis de dégager plusieurs conclusions essentielles :

- Du point de vue maniabilité, l'incorporation de polymère latex dans les mortiers améliore significativement leur maniabilité, réduisant ainsi le rapport E/C nécessaire pour obtenir une consistance optimale. Cet effet est principalement attribué au caractère plastifiant du latex, qui facilite le mélange et l'application des mortiers, améliorant ainsi leur maniabilité.
- En termes de densité, les mortiers modifiés au polymère ont présenté une densité apparente légèrement inférieure à celle des mortiers traditionnels. Cette diminution est due à l'effet d'entraînement d'air du polymère, qui entraîne une porosité accrue. Cependant, cette diminution de densité n'a pas compromis les propriétés mécaniques des PMMs.
- Les propriétés mécaniques, notamment la résistance à la compression et à la traction par flexion, ont varié en fonction du type de sable utilisé. Les mortiers contenant du sable calcaire concassé ont montré une meilleure performance en termes de résistance à la compression, tandis que ceux contenant du sable de dune ont présenté une bonne maniabilité et une résistance satisfaisante à la traction par flexion. Ces résultats indiquent que le type de sable peut être sélectionné en fonction des exigences spécifiques du projet de construction, permettant ainsi une optimisation des performances des mortiers.
- L'étude de l'absorption d'eau a révélé que les PMMs présentent une absorption d'eau réduite, améliorant ainsi leur durabilité en milieu humide. Cette caractéristique est fondamentale pour les applications où les structures sont exposées à des conditions climatiques sévères ou à des environnements corrosifs.

Les résultats ont également montré que l'utilisation de polymère latex dans les mortiers, combinée à des sables locaux, améliore les propriétés physiques et mécaniques des mortiers. Les sables calcaires concassés et de dunes, lorsqu'ils sont utilisés avec du polymère latex, offrent une amélioration notable de la durabilité et des performances des mortiers.

En conclusion, ces résultats suggèrent que la combinaison de 70% SC et 30% SD et de rapport P/C= 5% s'est avérée la formulation optimale et est une solution viable et efficace pour les projets de construction en Algérie, permettant de tirer parti des ressources locales tout en réduisant les coûts de construction.

Perspectives

Malgré les avancées significatives réalisées dans ce travail, répondant à de nombreuses questions sur la contribution des sables locaux (sable calcaire concassé et sable de dune) à l'amélioration des performances des PMM, et en tenant compte de plusieurs paramètres influençant les propriétés physico-mécaniques et la durabilité de ces mortiers, il est nécessaire de poursuivre les recherches. Pour approfondir et enrichir ce domaine, il convient d'explorer les thèmes suivants :

- Effectuer des études à long terme pour évaluer les performances mécaniques et la durabilité des mortiers modifiés au polymère dans des conditions réelles d'utilisation. Cela inclut l'exposition aux cycles de gel-dégel, aux agents chimiques, et aux charges mécaniques répétées.
- Explorer l'incorporation de nouveaux types de polymères, notamment ceux qui sont moins étudiés, pour déterminer leurs effets sur les propriétés des mortiers.
- Réaliser des analyses microstructurales détaillées (notamment de DRX et MEB) pour comprendre les mécanismes d'interaction entre les polymères et les différents composants du mortier; cela aidera à optimiser davantage les compositions de ces mortiers,
- Étudier l'effet d'un autre type de sable, comme le sable alluvionnaire qui se trouve en abondance dans la région.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [Yassène et al.,2020] AAM Yassène, MR Ismail, MS Afify, Propriétés physico-mécaniques de Composites de mortier de ciment modifiés aux polymères de latex SBR irradiés. *Journal of Vinyl and Additive, Technology*. 26 (2020) 144-154.
- [Aattache et al., 2017] Aattache A., Soltani R., & Mahi A. (2017). Investigations for properties improvement of recycled PE polymer particles-reinforced mortars for repair practice. *Construction and Building Materials*, 146:603-614
- [Abd_Elmoaty, 2011] Abd_Elmoaty A. M. (2011). Self-healing of polymer modified concrete. *Alexandria Engineering Journal*, 50(2):171-178.
- [Abbas et al.,2020] Abbas WA, Gorgis IN, Hussein. Modification de la microstructure des mortiers de ciment par de l'alcool polyvinylique soluble dans l'eau.Série de conférences IOP : Science et ingénierie des matériaux.2020 ;737 :12057.
- [ACI 458.3R, 2003] American Concrete Institute ACI 458.3R. (2003). *Guide for the use of polymers in concrete*.
- [Afridi et al., 1989] Afridi M.U.K., Ohama Y., Iqbal M.Z., & Demura K. (1989). Behaviour of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in polymer modified mortars. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 11(4):235-244.
- [Afridi et al., 2003] Afridi M.U.K., Ohama Y., Demura K., & Iqbal M.Z. (2003). Development of polymer films by the coalescence of polymer particles in powdered and aqueous polymer-modified mortars. *Cement and Concrete Research*, 33(11):1715-1721.
- [Aggarwal et al., 2007] Aggarwal L.K., Thapliyal P.C., & Karade S.R. (2007). Properties of polymer-modified mortars using epoxy and acrylic emulsions. *Construction and Building Materials*, 21(2):379-383.
- [Akihama et al., 1973] Akihama S., Morita H., Watanabe S., & Chida H. (1973). Improvement of mechanical properties of concrete through the addition of polymer latex. *Polymers in Concrete Special Publication*, 40:319-338.
- [Ali et al., 2012] Ali A.S., Jawad H.S., & Majeed I.S. (2012). Improvement the Properties of Cement Mortar by Using Styrene Butadiene Rubber polymer. *Journal of Engineering and Sustainable Development* 16:61-72.
- [Assaad, 2018] Assaad J. J. (2018). Development and use of polymer-modified cement for adhesive and repair applications. *Construction and Building Materials*, 163:139-148.
- [Aziz et al., 2023] Aziz, Ayoub, Anas Driouich, Mohammed Ben Ali, Khadija Felaous, Abdelilah Bellil, et Bharat Bhushan Jindal. 2023. Improving the Physicomechanical Performance of Geopolymer Mortars Using Human Hair as Fibers: New Horizons for Sustainable Applications. *Environmental Science and Pollution Research* 30 (26): 68129-42. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27257-x>.
- [Bahranifard et al., 2019] Bahranifard Z., Farshchi Tabrizi F., & Vosoughi A.R. (2019). An investigation on the effect of styrene-butyl acrylate copolymer latex to improve the properties of polymer modified concrete. *Construction and Building Materials* 205:175-185.
- [Balayssac et al., 2011] Balayssac J.P., Nicot P., Ruot B., Devès O., & Détriché C.H. (2011). Influence of admixtures on the cracking sensitivity of mortar layers applied to a mineral substrate. *Construction and Building Materials* 25:2828-2836.
- [Barluenga et Hernández-Olivares, 2004] Barluenga G., & Hernández-Olivares F. (2004). SBR latex modified mortar rheology and mechanical behaviour. *Cement and Concrete Research* 34(3):527-535.
- [Beeldens et al., 2001] Beeldens A., Monteny J., Vincke E., De Belie N., Van Gemert D., Taerwe L., & Verstraete W. (2001). Resistance to biogenic sulphuric acid corrosion of polymer-modified mortars. *Cement and Concrete Composites*, 23(1):47-56.
- [Benali et Ghomari, 2017] Benali Y., & Ghomari F. (2017). Latex influence on the mechanical behavior and durability of cementitious materials. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 31(3):219-241.

- [Bentur, 1982] Bentur A. (1982). Properties of polymer latex-cement composites. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 4(1):57-65.
- [Betoli et al., 2012] Betoli A.M., Gleize P.J.P., John V.M., & Pileggi R.G. (2012). Effect of EVA on the fresh properties of cement paste. *Cement and Concrete Composites* 34:255-260.
- [Berkak et al., 2021] Berkak, Hichem, Madani Bederina, et Zoubir Makhloufi. 2021. Physico-mechanical and microstructural properties of an eco-friendly limestone mortar modified with styrene-polyacrylic latex. *Journal of Building Engineering* 32:101463.
- [Bentur, Mindess, 2006] Bentur, A., & Mindess, S. (2006). "Fibre reinforced cementitious composites". CRC Press.
- [Bhogayata et Arora, 2018] Bhogayata A.C., & Arora N.K. (2018). Workability, strength, and durability of concrete containing recycled plastic fibers and styrene-butadiene rubber latex. *Construction and Building Materials* 180:382-395.
- [Blaga, 1975] Blaga A. (1975). *Les thermoplastiques*. Division des recherches en bâtiment, Conseil National de Recherches, Canada.
- [Blaga, Beaudoin, 1986] Blaga A., Beaudoin J.J., le béton modifié aux résines, Canadian Building Digest, CBD- 241-F, Institute for Research in Construction, 1986, 1-4.
- [Brien, 2014] Brien J.V. (2014). *Cementitious material for cold weather applications*. U.S. Patent Application No. 13/803.316.
- [Brien et Mahboub, 2013] Brien J.V., & Mahboub K.C. (2013). Influence of polymer type on adhesion performance of a blended cement mortar. *International Journal of Adhesion and Adhesives* 43:7-13.
- [Bureau et al., 2001] Bureau L., Alliche A., Pilvin P., & Pascal S. (2001). Mechanical characterization of a styrene-butadiene modified mortar. *Materials Science and Engineering: A* 308:233-240.
- [Caimi et al., 2018] Caimi S., Timmerer E., Banfi M., Storti G., & Morbidelli M. (2018). Core-shell morphology of redispersible powders in polymer-cement waterproof mortars. *Polymers*, 10(10):1122.
- [Chandra et Flodin, 1987] Chandra S., & Flodin P. (1987). Interactions of polymers and organic admixtures on Portland cement hydration. *Cement and Concrete Research*, 17(6):875-890.
- [Chandra et Ohama, 1994] Chandra S., & Ohama Y. (1994). *Polymers in Concrete*. CRC Press.
- [Chang et al., 2008] Chang W., Wang W., Liu L., Zhang J., Wang L., & Pei M. (2008). Effect of different polymer lattices on performance of their modified rapid hardening sulphoaluminate cement mortars. *Materials Research Innovations* 12:134-137.
- [Chen et al., 2006] Chen C.H., Huang R., Wu J.K., & Chen C.H. (2006). Influence of soaking and polymerization conditions on the properties of polymer concrete. *Construction and Building Materials*, 20(9): 706-712.
- [Çolak, 2005] Çolak A. (2005). Properties of plain and latex modified Portland cement pastes and concretes with and without superplasticizer. *Cement and Concrete Research* 35:1510-1521.
- [Corinaldesi et al., 2014] Polymer-Modified Mortars and Concrete: The State of the Art" - V. Corinaldesi et al., Materials, January 2014.
- [Czarnecki, 2007] Czarnecki L. (2007). Concrete-polymer Composites: trends shaping the future. *International Journal of the Society of Materials Engineering for Resources*, 15(1):1-5.
- [Dhaini, 2014] Dhaini F. (2014). *Etude des interactions latex-ciment modèle : conséquences sur les propriétés rhéologiques*. Thèse de Doctorat, Université de Bourgogne, France. 171p.
- [Dizayee et al., 2007] Dizayee K., Gallias J.L., Bigas J.P., & Noumowe A. (2007). Influence of mineral admixtures and cement on the chloride binding capacity of mortars. *Actes des journées scientifiques du LCPC*, 343-350.
- [Elalaoui, 2012] Elalaoui O. (2012). *Optimisation de la formulation et de la tenue aux hautes températures d'un béton à base d'époxyde*. Thèse de Doctorat, Université de Cergy-Pontoise, France. 194p.

- [Emiroglu et al., 2017] Emiroglu M., Douba A.E., Tarefder R.A., Kandil U.F., & Taha M.R. (2017). New polymer concrete with superior ductility and fracture toughness using alumina nanoparticles. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(8):04017069.
- [Eren et al., 2017] Eren, F. Gödek E., Keskinates M., Tosun-Felekoğlu K., & Felekoğlu B. (2017). Effects of latex modification on fresh state consistency, short term strength and long term transport properties of cement mortars. *Construction and Building Materials*, 133:226-233.
- [Evbuomwan, 1997] Evbuomwan N. (1997). Strengthening effects of microsilica in a polymer modified mortar under different curing regimes, in: *Proceedings of the 3rd Southern African Conference on Polymers in Concrete*. Johannesburg, South Africa, 15-17.
- [Fournier., 1996] E. Fournier, "Polymer-Modified Mortars: Today's Trends and Applications" - Concrete International, August 1996.
- [Fowler, 1999] Fowler D.W. (1999). Polymers in concrete: a vision for the 21st century. *Cement and Concrete Composites*, 21(5-6):449-452.
- [Fowler, 2018b] Fowler D.W. (2018). Concrete-polymer materials: how far have we come, and where do we need to go? *International Congress on Polymers in Concrete*. Springer, 3-13.
- [Frigione, 2013] Frigione M. (2013). Concrete with polymers. In: *Eco-Efficient Concrete*. Woodhead Publishing, 386-436.
- [Gallias et Dizayee, 2009] Gallias J.L., & Dizayee K. (2009). Chloride binding of mortars with mineral admixtures and relation with compressive strength and carbonation. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 13(5):547-559.
- [Gao et al., 2002] Gao J.M., Qian C.X., Wang B., & Morino K. (2002). Experimental study on properties of polymer-modified cement mortars with silica fume. *Cement and Concrete Research* 32:41-45.
- [Gholinezhad et al., 2019] Gholinezhad F, Moghbeli MR, Aghaei A, Allahverdi 2019 : A.Effet de l'argile organique particules de latex d'acrylate renforcées sur les performances de la pâte de ciment. *Journal des sciences et technologies de la dispersion*. 1-16.
- [Göbel, 2018] Göbel L. (2018). *Experimental and semi-analytical multiscale approaches for the characterization of the elastic and viscoelastic behavior of polymer-modified cement-based materials*. PhD thesis. Bauhaus University, Germany.
- [Gomes et de Brito, 2009] Gomes M., & de Brito J. (2009). Structural concrete with incorporation of coarse recycled concrete and ceramic aggregates: durability performance. *Materials and Structures*, 42(5):663-675.
- [Guo et al., 2017] Guo Y., Ma B., Zhi Z., Tan H., Liu M., Jian S., & Guo, Y. (2017). Effect of polyacrylic acid emulsion on fluidity of cement paste. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 535:139-148.
- [Kashani et al., 2017] Kashani, Alireza, Tuan Duc Ngo, Priyan Mendis, Jay R. Black, et Ailar Haji mohammadi. 2017. « A sustainable application of recycled tyre crumbs as insulator in lightweight cellular concrete ». *Journal of Cleaner Production* 149 (avril):925-35.2017.
- [Guo et al., 2020] Guo SY, Zhang X, Chen JZ, Mou B, Ren J. 2020 . Propriétés mécaniques et de liaison d'interface du mortier de réparation de ciment Portland renforcé de résine époxy. *CONSTRUCTION ET MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION*;264.
- [Heinzmann Cet al., 2015] Heinzmann C, Salz U, Moszner N, Fiore GL, Weder C. Réticulations supramoléculaires dans les copolymères poly(méthacrylate d'alkyle) et leur impact sur les propriétés mécaniques et adhésives réversibles. *ACS Appl Mater Interfaces* 2015;7(24):13395e404.
- [Hwang et al., 2008] Hwang E.H., Ko Y.S., & Jeon J.K. (2008). Effect of polymer cement modifiers on mechanical and physical properties of polymer-modified mortar using recycled artificial marble waste fine aggregate. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 14:265-271.
- [Ion et al., 2013] Ion I., Barroso Aguiar J., Angelescu N., & Stanciu D. (2013). Properties of polymer modified concrete in fresh and hardened state. *Advanced Materials Research*, 687:204-212.

- [Islam et al., 2011] Islam M.A., Rahman M.M., & Ahmed M. (2011). Polymer-modified concrete: world experience and potential for Bangladesh. *The Indian Concrete Journal*, 1:55-63.
- [ISO, 2009] ISO. (2009). *Cement - Test Methods-Determination of strength*. ISO 679:2009. Geneva, Switzerland.
- [Jo, 2020] Jo Y.K. (2020). Adhesion in tension of polymer cement mortar by curing conditions using polymer dispersions as cement modifier. *Construction and Building Materials*, 242:118-134.
- [Kardon, 1997] Kardon J.B. (1997). Polymer-modified concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 9(2): 85-92.
- [Kong et al., 2013] Kong X.M., Wu C.C., Zhang Y.R., & Li J.L. (2013). Polymer-modified mortar with a gradient polymer distribution: Preparation, permeability, and mechanical behaviour. *Construction and Building Materials*, 38:195-203.
- [Kirlikovali E.,1981] Kirlikovali E., Polymer/concrete composites—A review. *Polymer Engineering & Science*, 507–509, 1981.
- [Larbi et Bijen, 1990] Larbi J.A., & Bijen J.M. (1990). Interaction of polymers with Portland cement during hydration : A study of the chemistry of the pore solution of polymer-modified cement systems. *Cement and Concrete Research*, 20(1):139-147.
- [Lewis et Lewis, 1990] Lewis W.J., & Lewis G. (1990). The influence of polymer latex modifiers on the properties of concrete. *Composites*, 21(6) :487-494.
- [Li et al., 2018] Li L., Wang R., & Lu Q. (2018). Influence of polymer latex on the setting time, mechanical properties and durability of calcium sulfoaluminate cement mortar. *Construction and Building Materials*, 169:911-922.
- [Liu et al., 2020] Liu B., Shi J., Sun M., He Z., Xu H., & Tan J. (2020). Mechanical and permeability properties of polymer-modified concrete using hydrophobic agent. *Journal of Building Engineering*, 31:101337.
- [Lu et al., 2017] Lu Z., Kong X., Zhang C., Cai Y., Zhang Q., & Zhang Y. (2017). Effect of polymer latexes with varied glass transition temperature on cement hydration. *Journal of Applied Polymer Science*, 134:45264.
- [Lu et al., 2017] Lu Z., Kong X., Zhang C., Xing F., & Zhang Y. (2017). Effect of colloidal polymers with different surface properties on the rheological property of fresh cement pastes. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 520:154-165.
- [L. Yan et al.,2012] L. Yan, X. Yu, JJ Yang, SB Zhao, ZZ Yang, Effet du polymère soluble dans l'eau sur performances de la pâte de ciment, Béton 113-4 (2012).
- [Ma et Li, 2013] Ma H., & Li Z. (2013). Microstructures and mechanical properties of polymer modified mortars under distinct mechanisms. *Construction and Building Materials*, 47:579-587.
- [Marceau et al., 2012] Marceau S., Lespinasse F., Bellanger J., Mallet C., & Boinski F. (2012). Microstructure and mechanical properties of polymer-modified mortars. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 16(5):571-581.
- [Mindess et Young., 2003] Sidney Mindess, J. Francis Young, David Darwin. 2003. « Concrete 2nd Edition ». Technical Documents, janvier.
- [Miller, 2005] Miller M. (2005). *Polymers in cementitious materials*. iSmithers Rapra Publishing.
- [Mo et al., 2016] Mo K.H., Alengaram U.J., Jumaat M.Z., Liu M.Y.J., & Lim J. (2016). Assessing some durability properties of sustainable lightweight oil palm shell concrete incorporating slag and manufactured sand. *Journal of Cleaner Production*, 112:763-770.
- [Nabavi et al., 2013] Nabavi F., Nejadi S., & Samali B. (2013). Experimental investigation on mix design and mechanical properties of polymer (latex) modified concrete. *Advanced Materials Research*, 687:112-117.
- [NBN B 15-215, 1989] NBN B 15-215. (1989). *Essais des bétons - absorption d'eau par immersion*. Bruxelles, Belgique.
- [Neville.,1988] A. M. Neville, Polymer-Modified Mortars and Concrete Mixtures" - Structural Engineer, Volume 66, Issue 5, 21 May 1988.

- [NF EN 1008, 2003] NF EN 1008. (2003). *Eau de gâchage pour bétons - spécification d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton* (indice de classement P 18-211).
- [NF EN 1097-6, 2014] NF EN 1097-6. (2014). *Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 6 : Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau.*
- [NF EN 12620, 2003] NF EN 12620. (2003). *Granulats pour béton.*
- [NF EN 1504, 2004] NF EN 1504. (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.*
- [NF EN 196-1, 2006] NF EN 196-1. (2006). *Méthodes d'essais des ciments - Partie1 : détermination des résistances mécaniques.*
- [NF EN 933-1, 2012] NF EN 933-1. (2012). *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie1 : détermination de la granularité, analyse granulométrique par tamisage.*
- [NF EN 933-8, 2015] NF EN 933-8. (2015). *Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - équivalent de sable.*
- [NF P 15-437, 1987] NF P 15-437. (1987). *Liants hydrauliques - technique des essais - caractérisation des ciments par mesure de la fluidité sous vibration des mortiers* (Indice de classement : P15-437).
- [NF P 18-452, 1988] NF P 18-452. (1988). *Bétons - mesures du temps d'écoulement des bétons et des mortiers au maniabilimètre LCPC*, AFNOR.
- [NF P 18-541, 1994] NF P 18-541. (1994). *Granulats pour bétons hydrauliques.*
- [NF P 18-560, 1990] NF P 18-560. (1990). *Granulats : Analyse granulométrique par tamisage.*
- [NF P 18-592, 1990] NF P 18-592. (1990). *Granulats. Essai au bleu de méthylène. Méthode à la tache.*
- [Ohama, 1995] Ohama Y. (1995). *Handbook of polymer-modified concrete and mortars: Properties and process technology.* William Andrew.
- [Ohama, 1997] Ohama Y. (1997). Recent progress in concrete-polymer composites. *Advanced Cement Based Materials*, 5(2):31-40.
- [Ohama, 1998] Ohama Y. (1998). Polymer-based admixtures. *Cement and Concrete Composites*, 20(2-3), 189-212.
- [Ohama, 2011] Ohama Y. (2011). Concrete-polymer composites - the past, present and future. *Key Engineering Materials*, 466:1-14.
- [Ozturk et Turan, 2012] Ozturk A.U., & Turan M.E. (2012). Prediction of effects of microstructural phases using generalized regression neural network. *Construction and Building Materials*, 29:279-283.
- [Parghi et Alam, 2016] Parghi A., & Alam M.S. (2016). Effects of curing regimes on the mechanical properties and durability of polymer-modified mortars - an experimental investigation. *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 5(5):324-347.
- [Pascal et al., 2004] Pascal S., Alliche A., & Pilvin P. (2004). Mechanical behaviour of polymer modified mortars. *Materials Science and Engineering: A*, 380(1-2):1-8.
- [Pomeroy, 1976] Pomeroy C.D. (1976). An assessment of the commercial prospects for fibre- and polymer-modified concretes. *Magazine of Concrete Research*, 28(96):121-129.
- [Ramakrishnan, 1992] Ramakrishnan V. (1992). *Latex-modified concretes and mortars.* Transportation Research Board.
- [Ramli et al., 2012] Ramli M., & Tabassi A.A. (2012). Effects of different curing regimes on engineering properties of polymer-modified mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 24(4):468-478.
- [Ramli et al., 2013] Ramli M., Tabassi A.A., & Hoe K.W. (2013). Porosity, pore structure and water absorption of polymer-modified mortars: An experimental study under different curing conditions. *Composites Part B: Engineering*, 55:221-233.

- [Rashid et al., 2015] Rashid K., Ueda T., Zhang D., Miyaguchi K., & Nakai H. (2015). Experimental and analytical investigations on the behavior of interface between concrete and polymer cement mortar under hygrothermal conditions. *Construction and Building Materials*, 94:414-425.
- [Rattanaveeranon et al., 2019] Rattanaveeranon S., Dumrongsil S., & Jiamwattanapong K. (2019). Effect of latex rubber and rubber powder as an admixture on bending strength of cement mortars. *Applied Mechanics and Materials*, 891:180-186.
- [Ray et al., 1994] Ray I., Gupta A.P., & Biswas M. (1994). Effect of latex and superplasticiser on Portland cement mortar in the fresh state. *Cement and Concrete Composites*, 16(4):309-316.
- [Ribeiro, 2006] Ribeiro M.C.S. (2006). *New polymer mortar formulations : development, characterization and application forms*. PhD Thesis, Univ. of Porto, Portugal. 430p.
- [Ribeiro et al., 2008] Ribeiro M.S.S., Gonçalves A.F., & Branco F.A.B. (2008). Styrene-butadiene polymer action on compressive and tensile strengths of cement mortars. *Materials and Structures*, 41:1263-1273.
- [Rossignolo et Agnesini, 2004] Rossignolo J.A., & Agnesini M.V.C. (2004). Durability of polymer-modified lightweight aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 26(4):375-380.
- [Saija, 1995] Saija L.M. (1995). Waterproofing of Portland cement mortars with a specially designed polyacrylic latex. *Cement and Concrete Research*, 25:503-509.
- [Sakai et Sugita, 1995] Sakai E., & Sugita J. (1995). Composite mechanism of polymer modified cement. *Cement and Concrete Research*, 25(1):127-135.
- [Sakthieswaran et Sophia, 2018] Sakthieswaran N., & Sophia M. (2018). Effect of superplasticizers on the properties of latex modified gypsum plaster. *Construction and Building Materials*, 179:675-691.
- [Schirmer et Osburg, 2015] Schirmer U., & Osburg A. (2015). Interactions between non-ionic additives and cement phases. *Advanced Materials Research*, 1129:492-499.
- [Serag et al., 2019] Serag M.I., Ibrahim S., & El-Feky M.S. (2019). Investigating the effect of mixing water dispersion on concrete strength and microstructure. *Journal of Building Pathology and Rehabilitation*, 4(23):1-12.
- [Shaker et al., 1997] Shaker F.A., El-Dieb A.S., & Reda M.M. (1997). Durability of styrene-butadiene latex modified concrete. *Cement and Concrete Research*, 27(5):711-720.
- [Song et al., 2012] SH Song, FT Liu, YB Huang, Effet du latex polymère et des fibres sur les propriétés du mortier de ciment sulfo- aluminate, Adv. Maître. Rés. 450-451 (2012) 402-406.
- [Shi et al., 2020] Shi C, Zou X, Yang L, Wang P, Niu M. Influence de l'humidité sur les propriétés mécaniques des matériaux de réparation à base de ciment modifiés aux polymères. *Construction et matériaux de construction*. 2020.
- [Siddique, Khan, 2011] Siddique, R., & Khan, M. I. (2011). "Supplementary cementing materials". Springer.
- [Silva et Monteiro, 2006] Silva D.A., & Monteiro P.J.M. (2006). The influence of polymers on the hydration of Portland cement phases analyzed by soft X-ray transmission microscopy. *Cement and Concrete Research*, 36:1501-1507.
- [Slomkowski et al., 2011] Slomkowski S., Alemán J.V., Gilbert R.G., Hess M., Horie K., Jones R.G., Kubisa P., Meisel I., Mormann W., Penczek S., & Stepto R.F.T. (2011). Terminology of polymers and polymerization processes in dispersed systems (IUPAC Recommendations 2011). *Pure and Applied Chemistry*, 83(12):2229-2259.
- [Sperry et Snyder, 1993] Sperry P.R., & Snyder B.S. (1993). The role of water in latex coalescence. *American Chemical Society*.
- [Su, 1995] Su Z. (1995). *Microstructure of polymer cement concrete*. PhD Thesis, Delft University, Netherlands. 189p.
- [Sumathy et al., 1997] Sumathy C.T., Dharakumar M., Devi M.S., & Saccubai S. (1997). Modification of cement mortars by polymer latex. *Journal of Applied Polymer Science*, 63:1251-1257.
- [Sun et al., 2019] Sun K., Wang S., Zeng L., & Peng X. (2019). Effect of styrene-butadiene rubber latex on the rheological behavior and pore structure of cement paste. *Composites Part B: Engineering*, 163:282-289.

- [Taha, 2018] Taha M.M.R. (2018) *Polymers for Resilient and Sustainable Concrete Infrastructure*: Springer. *International Congress on Polymers in Concrete (ICPIC 2018)*.
- [Wang et al., 2001] Wang P., Xu Q., & Stark J. (2001). Physical properties of styrene-butadiene emulsion modified cement mortar used for repair of bridge surface. *Journal of Building Materials*, 4(2):143-147.
- [Wang et al., 2011] Wang R., Lackner R., & Wang P.M. (2011). Effect of Styrene–Butadiene rubber latex on mechanical properties of cementitious materials highlighted by means of nanoindentation. *Strain* 47(2):117-126.
- [Wang et Wang, 2011] Wang R., & Wang P.M. (2011). Action of redispersible vinyl acetate and versatate copolymer powder in cement mortar. *Construction and Building Materials*, 25:4210-4214.
- [Wetzel et al.,2020] Wetzel R, Eckardt O, Biehl P, Brauer DS, Schacher FH 2020. Effet de l'architecture poly (acide acrylique) sur la prise et les propriétés mécaniques des ciments verre ionomère. *Matériaux dentaires*.
- [Yassene et al., 2019] Yassene A.A.M., Ismail M.R., & Afify M.S. (2019). Physicomechanical properties of irradiated SBR latex polymer-modified cement mortar composites. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 26(2):144-154.
- [Yilmaz, 2013] Yilmaz F. (2013). *Polymer Science*. InTech, London.
- [YZ Lin.,2012] YZ Lin, Effet du polymère sur les propriétés mécaniques précoces de la suspension de cendres volantes, Adv. Maître. Rés. 450-451 (2012) 248-251.
- [Zhou et al., 2019] Zhou C., Chen L., Zheng, S., Xu Y., & Feng D. (2019). Rheological, mechanical, and abrasion characteristics of polymer-modified cement mortar and concrete. *Canadian Journal Civil Engineering*, 1-37.

Annexes


**AMOUDA
CIMENT**


AL ESSES

CIMENT RESISTANT AUX SULFATES
NA 442-CEM I 42.5 N-LH/SR 5

CONFORMITÉ PRODUIT

CLASSE SR5

NA 442 : 2013 – EN 197-1 : 2012.

DESIGNATION NORMALISEE

NA 442-CEM I 42.5 N-LH/SR 5.

OUVRAGES EN MILIEUX AGRESSIFS

Eau, Sol, Air.

OUVRAGES MASSIFS

FABRICATION

-PRODUIT 100% ALGERIEN

-Fabrication exclusive à l'usine Amouda Ciment sise à El Beida Laghouat.

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

PROPRIETES CHIMIQUES

Bogue : C3A $\leq$ 5%.

NA 5042 (EN 196-2) : SO₃ $\leq$ 3%.

NA 5042 (EN 196-2) : Chlorure $\leq$ 0.1%

PROPRIETES PHYSICO-MECANIQUE

NA 230 (EN 196-3) : DP > 60 mn

NA 234 (EN 196-1) :

- Résistance à la compression (2 jours) > 10 MPa

- Résistance à la compression (28 jours) > 42.5 MPa

EMPLOIS ET USAGES CONFORME À VOS PROJETS

- Tunnels et travaux souterrains.
- Terrains gypseux, eaux pures, eaux usées et industrielles.
- Milieux sulfatés.
- Fondations et structures à réaliser dans des milieux aggrèsifs.
- Injections.
- Ouvrages massifs.
- Travaux à la mer.



NOS PRODUITS AUSSI



AL IMRAN

NA 442-CEM II / B-L 32.5 R.

Ciment pour les professionnels de la construction



AWTED

NA 442-CEM II/A-L 42.5 N

Ciment aux performances élevées, (super structure).

POUR PLUS D'INFORMATION VEUILLEZ CONSULTER NOTRE SITE WEB :

www.amoudaciment.com

Email : service.clients@amoudaciment.com

Direction commerciale

Lotissement 202, Section 4, Zone d'activité Amara, Chéraga, Alger.

Tél. : 023 305 515 Région Nord : 0655 521 235
Fax : 023 30 55 14 Région Sud : 0658 363 463



Coordonnées usine

Commune El-Beidha, Guellet Sidi Saad, wilaya de LAGHOUAT

Tél. : 029 173 490 Spécialiste Qualité : 0656 403 772
Fax : 029 17 34 91





NOTICE PRODUIT

SikaLatex®

Résine à mélanger à l'eau de gâchage des mortiers

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

SikaLatex® est une dispersion aqueuse de résine synthétique qui se présente sous la forme d'un liquide laiteux concentré. Parfaitement miscible, il s'ajoute directement à l'eau de gâchage des mortiers de ciment.

DOMAINES D'APPLICATION

Enduits et chapes

- Barbotines pour accrochage des enduits et chapes de ciment.
- Enduits imperméables pour réservoirs et piscines d'eau douce et d'eau de mer.
- Chapes de haute résistance à l'usure même en présence d'eau : seuils sous vanne, radiers soumis à des efforts d'érosion.

Jointoiements

- Joints de maçonnerie durables et étanches.
- Joints de prédalles et de panneaux préfabriqués.

Ragréages et réparations

- Reprofilages et réparations d'épaufrures de béton, béton armé ou précontraint.

Travaux de finition de couverture

- Embarrures et crêtes de tuiles faîtières.
- Raccords d'enduits des maçonneries et solins de rives.
- Enduits de souches et solins.

Collages et durcissement des plâtres

- Collage par barbotine conformément au DTU 25.1
- Réalisation de plâtres durs et étanches.

Reprises de bétonnage

- Reprises entre coulées successives de béton par incorporation de SikaLatex® dans un mortier de liaison.

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

- Améliore fortement l'adhérence du mortier sur tout support, même lisse (béton, pierre, brique, métaux ferreux, verre et céramique),
- Rend le mortier plastique et facile à mettre en oeuvre,
- Augmente les résistances à la traction,
- Limite le risque de fissuration,
- Améliore l'imperméabilisation,
- Améliore la dureté de surface,
- Réduit l'usure et le poussierage.

SikaLatex® conserve ses qualités, même en milieu humide ou en immersion.

SikaLatex® est compatible avec tous les ciments, la chaux et le plâtre.

AGRÈMENTS / NORMES

PV CNERIB DTEM: 157/2016.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	Bidons de 2 kg, 5 kg et 10 kg Fût de 210 kg
Durée de Conservation	Dans son emballage d'origine intact : ▪ 12 mois pour les sachets et les bidons ▪ 18 mois pour les cartons
Conditions de Stockage	A l'abri du gel et d'une chaleur excessive.
Aspect / Couleur	Liquide laiteux

Notice produit

SikaLatex®

Juillet 2023, Version 01.03

020301010010000001

Densité

Environ 1

INFORMATIONS TECHNIQUES

Composition du Mortier

Préparation du mélange:

• Préparation de la solution SikaLatex® :

1 volume de SikaLatex®

2 volumes d'eau

• Préparation de la barbotine SikaLatex® :

1 volume de ciment

1 volume de sable

Gâcher jusqu'à consistance crémeuse avec la solution SikaLatex®

• Préparation du mortier SikaLatex® :

1 volume de ciment

2 volumes de sable 0-3

Gâcher jusqu'à consistance voulue avec la solution SikaLatex®

Malaxage :

A la main comme un mortier ordinaire.

Avec une bétonnière ou un malaxeur : éviter tout malaxage prolongé.

Utiliser le mortier dès qu'il est homogène. Le mortier peut être accéléré en ajoutant 0,5 à 1 litre de DROSPRINT (voir notice produit) selon la température et l'effet recherché, par sac de 35 kg de ciment

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Consommation

- En couche d'accrochage : 0,12 l/m² par mm d'épaisseur.
- En mortier : 0,60 l/m² par cm d'épaisseur.

VALEURS DE BASE

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

LIMITATIONS

N'utilisez jamais le mélange pur SikaLatex® ou SikaLatex®-eau directement sur le substrat comme pont de liaison, ajoutez toujours du ciment et du sable au mélange.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

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

INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

QUALITÉ DU SUPPORT / PRÉTRAITEMENT

Le substrat doit être parfaitement propre, exempt de poussière, sains et débarrassés des parties non adhérentes. Le substrat doit être largement imbibé d'eau mais non ruisselante.

MÉLANGE

- A la main comme un mortier ordinaire.
- Avec une bétonnière ou un malaxeur verser le mortier dès qu'il est homogène afin d'éviter tout malaxage prolongé.
- Le mortier peut être accéléré en ajoutant 0,5 à 1 litre de DROSPRINT (voir notice technique 12.70) selon la température et l'effet recherché, par sac de 35 kg de ciment.

MÉTHODE D'APPLICATION / OUTILS

Enduits

Pour obtenir une bonne adhérence des enduits sur béton brut ou lisse et sur toutes maçonneries :

- après préparation du support, faire un gobetis à l'aide du mortier SikaLatex® réalisé avec un sable grenu pour obtenir une surface d'accrochage rugueuse,
- laisser tirer le gobetis (dur à l'ongle) avant d'enduire la paroi,
- appliquer l'enduit proprement dit, dresser à la règle,
- garder une surface rugueuse,
- faire la couche de finition.

Chapes

Pour obtenir une bonne adhérence des chapes :

- après préparation du support, étaler la barbotine SikaLatex® en couche mince de quelques millimètres d'épaisseur au balai de cantonnier (utiliser le même sable),
- sur cette barbotine encore fraîche et poisseuse, exécuter la chape proprement dite.

Pour obtenir une chape présentant une bonne résistance à l'usure et peu sensible à l'action des huiles et graisses :

- procéder comme ci-dessus pour la barbotine,

Notice produit

SikaLatex®

Juillet 2023, Version 01.03

020301010010000001

- sur la barbotine encore fraîche et poisseuse, exécuter une chape avec un mortier SikaLatex® gâché avec la solution spéciale suivante :
 - 1 Volume de SikaLatex®.
 - 3 Volumes d'eau.
- protéger contre la dessiccation en pulvérisant sur la chape la solution SikaLatex® dès le virage au mat du mortier, puis en humidifiant la chape après 24 heures.

Joint de maçonnerie

Pour réaliser des joints apparents durables, procéder ainsi :

- si nécessaire, refouiller les joints horizontaux et verticaux sur quelques centimètres de profondeur,
- les laver au jet d'eau sous pression,
- garnir les joints encore humides avec le mortier SikaLatex®, gâché assez ferme, pour obtenir une bonne adhérence et une étanchéité améliorée des joints,
- éviter les joints saillants ou trop profonds (DTU 20.1).

Ragréages - Réparations

Pour procéder à des ragréages solides et nets :

- après préparation du support, réaliser un mortier SikaLatex® gâché ferme avec un sable assez fin,
- imprégner la partie à ragréer avec la solution SikaLatex®,
- avant séchage de cette imprégnation, appliquer et serrer le mortier SikaLatex®,
- finir aussitôt les ragréages, reprofilages d'arêtes, recharges de dressement.

Les trous laissés par les broches d'écartement des coffrages seront obturés efficacement et de façon durable avec un mortier SikaLatex®.

Travaux de finition de couverture

- Après préparation du support appliquer le mortier SikaLatex® de la même manière que le mortier habituel.
- Protéger contre la dessiccation en pulvérisant la solution SikaLatex®.

Collages des plâtres - Plâtres imperméables

Pour traiter les plâtres soumis à l'humidité :

- gâcher le plâtre avec la solution SikaLatex® spéciale à 1 volume de SikaLatex® pour 4 volumes d'eau,
- faire un gobetis rugueux en couche d'accrochage,
- le plâtre gâché avec la solution SikaLatex® devient dur plus rapidement et imperméable.

Reprises de bétonnage

Pour obtenir une bonne liaison du béton frais sur béton durci et prévenir les défauts

d'imperméabilisation de la surface de reprise :

- laver au jet d'eau sous pression le béton de la surface de reprise,
- préparer un mortier SikaLatex® gâché à consistance plastique,
- répandre le mortier SikaLatex® sur la surface humide en couche de 2 à 3 centimètres,
- couler aussitôt le béton,

- vibrer soigneusement la zone de reprise pour une bonne interpénétration du mortier et du béton,
- utiliser une hauteur de banches compatible avec les moyens de serrages utilisés sur le chantier.

NETTOYAGE DES OUTILS

Nettoyage des outils à l'eau avant durcissement.

RESTRICTIONS LOCALES

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

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Sika El Djazair SPA

08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 23 88 89 92 09
Fax: 0 23 88 89 92 08
dza.sika.com



Notice produit

SikaLatex®

Juillet 2023, Version 01.03
020301010010000001



BUILDING TRUST



NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12

SUPERPLASTIFIANT / HAUT RÉDUCTEUR D'EAU



INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération à base de polycarboxylates.

DOMAINES D'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 permet la fabrication de tout type de béton de consistance plastique à auto-plaçante.

- Béton autoplaçant ou autonivelant
- Béton à long maintien d'ouvrabilité sans effet retard de prise
- Béton à faible rapport E_{eff}/C
- Béton à haute ou très haute performance
- Béton pompé sur de très longues distances
- Bétonnage par temps chaud

- Béton pour ouvrages fortement ferrailés
- Chapes autonivelantes

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

De part sa formulation spécifique, Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est particulièrement recommandé pour les ciments à faible ou moyenne teneur en sulfates alcalins. Sa capacité à conférer un long maintien d'ouvrabilité lui permet de s'adapter facilement à des ciments faiblement demandeurs en adjuvants.

Son caractère polyvalent permet de s'adapter à tout type de matériaux et à une large gamme de ciments.

AGRÉMENTS / NORMES

Marquage CE et NF selon la norme NF EN 934-2 tab 3.1 et 3.2.

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	▪ Fût de 217 L ▪ CP de 1000 L ▪ Vrac
Aspect / Couleur	Liquide brun clair
Durée de Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact.
Conditions de Stockage	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
Densité	$1,060 \pm 0,020$
Valeur pH	$5,5 \pm 1,0$
Extrait Sec	$29,5 \pm 1,4\%$ (méthode halogène selon NF 085) $29,5 \pm 1,4\%$ (NF EN 480-8)
Teneur Totale en Ions Chlorure	$\leq 0,1 \%$

Notice Produit
Sika® ViscoCrete® TEMPO-12
Mars 2020, Version 01.02
021301011000000110

Équivalent Oxyde de Sodium $\leq 1 \%$

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage Plage de dosage : 0,1 à 5,0% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

VALEURS DE BASE

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

RESTRICTIONS LOCALES

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

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Avant toute utilisation de produit, les utilisateurs doivent consulter la version la plus récente de la fiche de données de sécurité correspondante. Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, toxicologiques, écotoxicologiques et autres données relatives à la sécurité. Nos FDS sont disponibles sur www.quickfds.com et sur le site www.sika.fr

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

SIKA FRANCE S.A.S.
84 rue Edouard Vaillant
93350 LE BOURGET
FRANCE
Tél.: 01 49 92 80 00
Fax: 01 49 92 85 88
www.sika.fr

Notice Produit
Sika® ViscoCrete® TEMPO-12
Mars 2020, Version 01.02
021301011000000110

2 / 2

SikaViscoCreteTEMPO-12-fr-FR-(03-2020)-1-2.pdf

BUILDING TRUST



الملخص

تدرس هذه الأطروحة تأثير الرمال المحلية على الخصائص الفيزيائية-الميكانيكية والمتانة للملاط المعدل بالبوليمر. وكان الهدف الرئيسي هو دراسة تأثير أنواع مختلفة من الرمال المحلية، وبالتحديد رمل الحجر الكلسي المسحوق ورمل الكثبان الرملية، على قابلية التشكيل، والكثافة، والخصائص الميكانيكية، وديمومة الملاط المعدل بالبوليمر اللاتكس. وأظهرت النتائج أن دمج رمل الكثبان الرملية والبوليمر اللاتكس في خليط الملاط يجعل من الممكن تحسين خصائصها الفيزيائية والميكانيكية، مع تحسين ديمومتها. كما تبين أن خليط الملاط المعدل بالبوليمر رقم 4 بـ 30% من رمل الكثبان ونسبة البوليمر على الاسمنت تساوي 5%، هو الملاط الأمثل من حيث الخصائص المدروسة.

الكلمات المفتاحية: الرمال المحلية، الخصائص الفيزيائية-الميكانيكية، المتانة، الملاط المعدل بالبوليمر، البوليمر اللاتكس.

Abstract

The main objective of this research is to study the effect of different types of local sand, including crushed Limestone Sand (LS) and Dune Sand (DS), on the workability, density, mechanical properties and durability of mortars modified with a latex polymer. The results showed that the incorporation of dune sand and latex polymer in mortar mixtures optimizes their physical and mechanical properties, and their durability. Then as the mixture polymer-modified mortars 4, with 30% of DS and a ratio Polymer/Cement=5%, send to be the optimal mortar in terms of studied properties.

Keywords: Local sands, Physico-mechanical properties, Durability, Polymer-modified mortar, Polymer latex.