



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies
Génie civil
Structures

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
LABED Salah

Le : samedi 23 juin 2018

Influence des taux élevés des fines calcaires sur le comportement mécanique et rhéologique des mortiers à base du sable de carrière

Jury :

M.	BOUAZIZ Ahmed	Pr	Université de Biskra	Président
M.	ABDELAZIZ Salim	MAA	Université de Biskra	Examineur
M.	MEZGHICHE Bouzidi	MCA	Université de Biskra	Rapporteur

Année universitaire : 2017 - 2018

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dédicaces

Je dédie ce travail

A mes parents et à toute ma famille qui m'ont soutenu seulement durant la préparation de ce travail, mais aussi dès le premier jour que j'ai vu la lumière de ce monde.

A tous mes amis de la promotion 2^{ème} master génie civil 2017/2018

A toute l'équipe de laboratoire de génie civil de l'université de Biskra

A tous ceux qui aiment et respectent le droit du savoir.

Remerciements

Mes sincères remerciements à Dieu le tout puissant pour le courage, la force, la volonté et la santé qu'il m'a donnée afin de réaliser ce mémoire.

Je tiens à remercier du fond du cœur mes parents qui ont su me donner une bonne éducation qui m'a permis d'arriver à ce stade d'études.

Tout d'abord, Je remercie vivement mon encadreur le maitre de conférences *Mr: B.MEZGHICHE* au département de génie civil à l'université de Biskra pour son encadrement et ses exigences de faire un vrai travail de recherche scientifique. Sans oublier l'ensemble du corps professeurs de département génie civil et surtout. *Pr.Bouzine tawfik*

Je tiens à exprimer ma gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse qui a été menée au sein du laboratoire matériaux de construction de l'université Mohamed khaidar de Biskra.

Aux membres de jury pour avoir sacrifié de leur temps, accepter d'examiner cette mémoire et d'honorer par leur présence le jury de soutenance.

Enfin, j'exprime toute ma reconnaissance à mes parents, mes frères, mes sœurs, qui m'ont soutenu pendant l'élaboration de ce travail Remerciements.

Résumé

La surexploitation du sable alluvionnaire provenant des oueds et de leurs affluents provoque un épuisement progressif de ces ressources et la création d'impact négatif sur l'environnement donc chercher d'autres types de sables pouvant remplacer le sable alluvionnaire, comme le cas sable de dune ou sable de carrière s'avère une opération indispensable.

Les principaux objectifs de notre projet de fin d'études est d'évaluer expérimentalement l'influence des fines calcaires à différents pourcentage sur les comportements physico-mécaniques et rhéologique, et étudie l'influence de la substitution des sable de carrière par fines calcaires sur les propriétés des mortiers (ouvrabilité, résistance à la compression et la traction par flexion et le retrait, gonflement et l'absorption), à base des sable de carrière, avec l'utilisation dans ciment **CEM II /A-L 42,5**

Après plusieurs essais on a conclu que les meilleurs résultats des résistances mécaniques c'était avec un pourcentage de 25 % de fines calcaires dans mortier à bas de sable carrière.

Les résistances mécanique des mortiers de sable de carrière avec adjuvant ont plus importantes par a rapport aux mortiers sans adjuvant.

Mots-Clés : adjuvent, sable de carrière, fine calcaire, résistance mécanique, ouvrabilité, retrait, gonflement, perte de masse.

ملخص

ان الاستغلال المفرط لرمل الوديان ورمل الشواطئ أدى الى النقص الملحوظ فيهم وكذا تأثيره السلبي على المحيط لذا وجب علينا ايجاد بدائل تحل محلها، وفي عملنا هذا استخدمنا رمال المحاجر منطقة بسكرة.

تبقى البحوث في ميدان دراسة الملاط وكيفية تطورها وبالأخص الرمل الذي يعتبر اهم عنصر في الملاط الذي له تأثيرات مختلفة ميكانيكية وفيزيائية .

تتمثل الاهداف الرئيسية لمشروع نهاية الدراسة في التقييم التطبيقي لتأثير طبيعة العناصر الناعمة الكلسية من الرمل المحجر بمختلف التراكيز العالية (25%، 30%، 35%) على خصائص الملاط على اساس رمل المحاجر (مقاومة الضغط والشد بالانحناء وكذلك الانكماش، قابلية التشغيل). كما استخدمنا في هذا العمل اسمنت **42,5 CEM II/A-L**

كما استنتجنا من خلال النتائج متحصل عليها ان أفضل نتيجة تم تحصل عليها في نسبة 25% من العناصر الناعمة في رمل المحاجر , كما استنتجنا ايضا أن عمل المحسن له تأثير ايجابي على العناصر الناعمة في رمل المحجر .

الكلمات المفتاحية: المحسن، العناصر الناعمة، الضغط، الشد بالانحناء، الانكماش، قابلية التشغيل، الرمل المحجر. الانتفاخ

LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS

CEMII/A-L 42.5 : Ciment portland au calcaire.

E/C : Rapport massique de l'eau sur ciment.

K_t : Constante de la température

K_a: Constante de l'appareil

K_d: Constante de densité

T : Température mesurée (C°)

R_c : refus cumulé en (%).

M_f : Module de finesse

ES_p : équivalent de sable mesuré au piston.

ES_v : équivalent de sable visuel mesuré visuellement.

SC : Sable carrière (Biskra)

R_c : Résistance à la compression en MPa.

F_c : Charge de rupture en N.

b : Côté de l'éprouvette en mm.

R_f : Résistance à la flexion en MPa.

F_f : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion N.

L : Longueur qui sépare les deux appuis inférieurs en mm.

SP : Superplastifiants.

NF P : Norme françaises applicable au bâtiment et génie civil.

EN : Norme Européenne définitive.

AFNOR : Association française de normalisation.

TABLE DES MATIERES

DEDICASES.....	I
REMERCIEMENTS.....	II
RESUME.....	III
LISTE DES SYMBOLES ET ABREVIATIONS.....	V
SOMMAIRE.....	VI
LISTE DES TABLAUX.....	XIV
LISTE DES FIGURES.....	XVI
LISTE DES PHOTOS.....	XX
INTRODUCTION GENERALE.....	1

SOMMAIRE

CHAPITRE 1

Généralité sur les mortiers

I.1/ Introduction	03
I.2/ Les Constituants des mortiers.....	04
I.2.1/ Les liants	04
I.2.1.1/ Le ciment	04
I.2.1.1.1/ Fabrication du ciment portland	05
I.2.1.1.2/ Les constituants de base du ciment	07
I.2.1.1.2.1/ Le clinker	07
I.2.1.1.2.2/ Le gypse	09
I.2.1.1.2.3/ Les ajouts	09
I.2.1.1.3/ Classification de ciment	11
I.2.1.1.3.1/ Classification de ciment en fonction de leur composant	11
I.2.1.1.3.2/ Classification des ciments suivant les résistances à la compression	13

I.2.1.1.4/ Caractéristique du ciment	14
I.2.1.1.4.1/ Phase dormante	14
I.2.1.1.4.2/ Prise	14
I.2.1.1.4.3/ Durcissement	14
I.2.1.1.4.4/ Finesse du ciment (finesse de Blaine)	16
I.2.1.1.4.5/ Le retrait	16
I.2.1.1.4.6/ Gonflement	17
I.2.1.1.4.7/ L'hydratation	17
I.2.1.1.4.8/ La masse volumique	20
I.2.1.1.4.9/ Les résistances mécaniques	20
I.2.1.2/ La Chaux	20
I.2.1.2.1/ Définition	20
I.2.2/ L'eau	21
I.2.2.1/ L'eau de gâchage	21
I.2.2.2/ Type des eaux	22
I.2.3/ Les granulats	22
I.2.3.1/ Les différents Types de granulats	22
I.2.3.2/ Les Sables	23
I.2.3.2.1/ Classification Des Sables	23
I.2.3.2.2/ Les caractéristiques des sables	25
I.2.3.2.2.1/ La granulométrie	25
I.2.3.2.2.2/ Caractéristique physico-chimiques	26

I.2.3.2.2.3/ Caractéristiques physiques et mécaniques.....	28
I.2.4/ Les adjuvants	29
I.2.4.1/ Les type des adjuvants	29
I.2.4.2/ Choix du type d'adjuvent	32
I.3/ Les Différents types de mortier	32
I.3.1/ Selon la nature du liant	32
I.3.2/ Selon l'utilisation	33
I.4/ Les propriétés des mortiers	33
I.4.1/ Maniabilité.....	33
I.4.2/ La prise	34
I.4.3/ Résistance mécaniques	34
I.4.4/ Retrais et gonflement	35
I.4.4.1/ Limitation du phénomène de retrait	35
I.4.5/ Durabilité	36
I.4.6/ Porosité	36
I.4.7/ Influence de sable de carrière sur le mortier	37
I.5/Conclusion	37

CHAPITRE 2

Influence des paramètres technologiques sur le comportement du mortier

I.1/ Introduction	38
II.2/ Influence du ciment	38
II.2.1/ L'influence des différents types de ciment sur la qualité des mortiers	38

II.2.2/ L'influence de rapport E/C et différent dosage de ciment	39
II.3/ Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques des mortiers	40
II.4/ Eau de gâchage	41
II.4.1/ Influence du dosage en eau	41
II.4.2/ Influence de la qualité de l'eau	42
II.5/ Influence des adjuvants	43
II.5.1/ Influence du dosage des adjuvants	43
II.5.2/ Effets Rhéologiques des superplastifiants	44
II.6/ Influence de sable	44
II.6.1/ L'effet du type de sable sur les propriétés du mortier	44
II.6.1.1/ Le mortier à l'état frais	44
II.6.1.2/ Le mortier à l'état durci	45
II.6.1.2.1/ La Comportement mécanique des mortiers	45
II.6.2/ Influence du lavage du sable	46
II.6.3/ Effet de la source minéralogique du sable de concassage	46
II.6.4/ Effet de la teneur en fines dans le sable	47
II.7/ Influence des facteurs climatiques	49
II.8/ Influence de types de cure	50
II.9/ Influence de granulats sur le retrait	51
II.10/ Conclusion	52

CHAPITRE 3

Les caractéristiques des Matériaux utilisés

III.1/ Introduction	53
III.2/ Matériaux	53
III.2.1/ Le ciment	53
III.2.1.1 Les caractéristiques chimiques et minéralogiques des ciments utilisés	53
III.2.1.2/ Les caractéristique physique des ciments utilisés	54
III.2.1.2.1/ La finesse (Surface spécifique)	54
III.2.1.2.2/ La masse volumique absolue	55
III.2.1.2.3/ La masse volumique apparente	56
III.2.1.2.4/ La consistance normale	56
III.2.1.2.5/ Le temps de prise	56
III.2.1.3/ les caractéristiques mécaniques des ciments utilisés	57
III.2.2/ Sable	58
III.2.2.1/ Les caractéristiques géométriques	58
III.2.2.1.1/ Les analyse granulométriques	58
III.2.2.1.2/ Module de finesse	60
III.2.2.2/ Les caractéristiques physiques et mécaniques	61
III.2.2.2.1/ La masse volumique absolue et apparente	61
III.2.2.2.2/ Porosité et Compacité et Indice de vides	62
III.2.2.3/ Les caractéristiques physico-chimiques	63
III.2.2.3.1/ Equivalent de sable	63
III.2.2.3.2/ Foisonnement du sable	65
III.2.2.3.3/ La teneur en eau W	66
III.2.2.3.4/ Absorption d'eau	66

III.2.3/ Fillers calcaires.....	67
III.2.4/ Les adjuvants	67
III.2.4.1/ Essai d’extraits secs d’adjuvants	68
III.2.4.2/ Essai de densité d’adjuvant	68
III.2.5/ L’eau de gâchage	69
III.3/ La composition des mortiers	69
III.4/ Mélanges	70
III.4.1/ Nature des mélanges	70
III.4.2/ Procédure de gâchage	71
III.4.3/ Confection des éprouvettes de mortier	71
III.5/ Procédures expérimentales	72
III.5.1/ Mode de cure	72
III.5.2/ Description des essais	73
III.5.2.1/ Essais sur le mortier frais	73
III.5.2.1.1/ Essai d’étalement à la table à secousse	73
III.5.2.2/ Essais sur le mortier durci	74
III.5.2.2.1/ Essai de résistance à la compression	74
III.5.2.2.2/ Essai de résistance à la flexion et traction par flexion	75
III.5.2.2.3/ Perte de masse	76
III.5.2.2.4/ Essai capacité d’absorption d’eau total	76
III.4.2.2.5 Essai de retrait.....	76
III.6/ Conclusion	78

CHAPITRE 4

Résultats et discussion

IV.1/ Introduction.....	79
IV.2/ Comportement du mortier frais.....	79
IV.2.2/ L'ouvrabilité	79
IV.3/ Comportement du mortier durci	80
IV.3.1/ Résistance à la compression.....	80
IV.3.2/ Résistance à la flexion et traction par flexion.....	83
IV.3.3/ Comparaison de la résistance mécanique à la compression et flexion et traction par flexion	84
IV.3.4/ Influence des adjuvants sur les résistances mécaniques	86
IV.3.5/ La capacité d'absorption d'eau totale.....	86
IV.3.6/ La perte de masse	88
IV.3.7/ Les augmentations de masse	88
IV.3.8/ Le retrait et gonflement.....	89
IV.3.8.1/ Le retrait	89
IV.3.8.2/ gonflement	89
IV.4/ Influence des fines calcaires sur le comportement mécaniques.....	91
IV.5/ Conclusion.....	93
CONCLUSION GENERALE.....	94
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEXE	

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 1

Généralité sur les mortiers

Tableau I.1: La composition chimique du cru	6
Tableau I.2: Composition minéralogique du clinker	8
Tableau I.3: Composition chimique du clinker	9
Tableau I.4: les différents types de ciments en fonction de leur composante	12
Tableau I.5: Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques	13
Tableau I.6: Différents types de granulats issus de roches massives	23
Tableau I.7: classification normalisée des sables	25
Tableau I.8: Séries de tamis employés pour la détermination module de finesse du sable.....	26
Tableau I.9: les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable (E_s)	27
Tableau I.10: Adjuvants modifiant la prise et le durcissement du ciment	31
Tableau I.11: choix de type d'adjuvant en fonction de sa propriété.....	32

CHAPITRE 2

Influence des paramètres technologiques sur le comportement du mortier

Tableau II.1 : Résistance à la compression des différents types de mortier à 28j	39
Tableau II.2: valeurs de l'ouvrabilité des différents mortiers	45

CHAPITRE 3

Les caractéristiques des Matériaux utilisés

Tableau III.1: la composition chimique de ciment	53
---	----

Tableau III.2: la composition minéralogique (Formule de Bogue)	54
Tableau III.3: Résultats des différents essais physiques sur ciment.....	57
Tableau III.4: La composition granulométrique de sable normalise	57
Tableau III.5: Résultats des différents essais mécanique sur ciment	57
Tableau III.6: Analyse granulométrique des sables carrières (A.N) et (S) pour mortier.....	59
Tableau III.7 : Module de finesse (<i>Mf</i>) de sable de carrière	61
Tableau III.8 : classement de sable	61
Tableau III.9: Résultats des différents essais physiques sur sable carrière.....	63
Tableau III.10: Résultats de la masse volumique absolue de sable carrière modifiée par pourcentage de fines calcaire	63
Tableau III.11: Résultats d'équivalent de sable	64
Tableau III.12: Résultats des différents essais physico-chimiques sur sable carrière	66
Tableau III.13: Résultats des différents essais physiques sur fillers calcaires.....	67
Tableau III.14: Les caractéristiques d'adjuvants utilises.....	69
Tableau III.15: Les caractéristiques sont présentées selon la fiche technique.....	69
Tableau III.16: Les différentes compositions d'un mètre cube du mortier	70

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1

Généralité sur les mortiers

Figure I.1 : principe de fabrication de ciment.....	7
Figure I.2 : Microphotographie d'un clinker	8
Figure I.3 : liste des 27 ciments courants.....	11
Figure I.4 : Codification du nom des ciments	11
Figure I.5 : le développement de la pâte de ciment avec les temps	14
Figure I.6 : influence de la température sur la prise des ciments	15
Figure I.7 : influence de l'E/C (eau/ciment) sur le temps de prise	15
Figure I.8 : Principe de la méthode Blaine	16
Figure I.9 : influence d'E/C sur le retrait des mortiers	17
Figure I.10 : Représentation bidimensionnelle de l'empilement de grains de ciment dans la pâte.....	18
Figure I.11 : Morphologie du C-S-H et Cristaux de Portlandite	19
Figure I.12 : Les différentes dimensions des sables.....	24
Figure I.13 : Détermination de l'équivalent de sable	27
Figure I.14 : Mécanisme d'action des superplastifiants-défloculation des grains de ciment..	30

CHAPITRE 2

Influence des paramètres technologiques sur le comportement du mortier

Figure II.1 : Evolution de la résistance à la compression des ciments CEM I et CEM III/C en fonction de temps	39
Figure II.2 : L'évolution des résistances mécaniques compression des mortiers élaborés à des différents pourcentages d'ajouts minéraux.....	41
Figure II.3 : Variation de la résistance à la compression.....	42
Figure II.4 : Effet des superplastifiants sur les propriétés rhéologiques de ciment	44
Figure II.5 : la résistance à la compression en fonction du temps des sables différents	45
Figure II.6 : Courbe de la résistance à la traction en fonction du temps de types de sable différents.....	46

Figure II.7 : Evolution de les résistances mécaniques des mortiers en fonction du temps et du dosage en fine, à base du sable de carrière, (durcissement humide) pour un rapport E/C = 0,6 % et C = 350 kg (CPJ-42.5).....	48
Figure II.8 : Evolution de l'absorption d'eau des mortiers à base du sable de carrière en fonction du % en fine, (durcissement humide) pour un rapport E/C = 0,6 % et C = 350 kg (CPJ-42.5).....	49
Figure II.9 : Courbe de la résistance à la compression en fonction de la méthode de cure conservée à l'air dans température ambiante (25±2°C)	50
Figure II.10 : Influence des méthodes de cure sur le taux d'absorption du mortier.....	51

CHAPITRE 3

Les caractéristiques des Matériaux utilisés

Figure III.1 : Courbes granulométriques des sables de carrière	60
Figure III.2 : la variation du volume apparent de sable carrière (Sc) par du différent pourcentage de fines calcaire et sable d'oued en fonction teneur en eau %	65
Figure III.3 : Table à secousses et la mesure d'étalement	73
Figure III.4 : Dispositif pour l'essai de traction par flexion (3 points).....	75
Figure III.5 : La mesure de retrait.....	77

CHAPITRE 4

Résultats et discussion

Figure IV.1 : Evolution de l'ouvrabilité des mortiers, à base du sable de carrière, en fonction du % en fine pour un dosage en ciment (C = 350 kg) et du rapport (E/C = 0.6) (CEM II-42.5)	80
Figure IV.2 : Evolution de la résistance à la compression des mortiers, à base de sable carrière, à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction du temps et du % en fine pour un rapport E/C = 0,6 et C = 300 kg (CEM II-42.5).....	81
Figure IV.3 : Evolution de la résistance à la compression des mortiers, à base de sable carrière, à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction du temps et du % en fine pour un rapport E/C = 0,6 et C = 350 kg (CEM II-42.5).....	81

Figure IV.4 : Evolution de la résistance à la compression des mortiers, à base de sable carrière, à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction du temps et du % en fine pour un rapport E/C = 0,6 et C = 400 kg (CEM II-42.5).....	82
Figure IV.5 : Evolution de la résistance à la compression des mortiers, à base de sable carrière, à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction du temps et du % en fine pour un rapport E/C = 0,7 et C = 300, 350,400 kg (CEM II-42.5).....	82
Figure IV.6 : Evolution de la résistance à la flexion et traction par flexion des mortiers, à base de sable carrière, à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction en % en fine pour un rapport E/C = 0,6 et C = 300 kg (CEM II-42.5).....	83
Figure IV.7 : Evolution de la résistance à la flexion et traction par flexion des mortiers, à base de sable carrière, à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction en % en fine pour un rapport E/C = 0,6 et C = 350 kg (CEM II-42.5).....	83
Figure IV.8 : Evolution de la résistance à la flexion et traction par flexion des mortiers, à base de sable carrière, à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction en % en fine pour un rapport E/C = 0,6 et C = 400 kg (CEM II-42.5).....	84
Figure IV.9 : Evolution de la résistance à la compression et flexion et traction par flexion des mortiers à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction du % en fine pour un rapport E/C =0,6 et C = 300 kg (CEM II-42 ,5).....	84
Figure IV.10 : Evolution de la résistance à la compression et flexion et traction par flexion des mortiers à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction du % en fine pour un rapport E/C =0,6 et C = 350 kg (CEM II-42 ,5).....	85
Figure IV.11 : Evolution de la résistance à la compression et flexion et traction par flexion des mortiers à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction du % en fine pour un rapport E/C =0,6 et C = 400 kg (CEM II-42 ,5).....	85
Figure IV.12 : Evolution de la résistance à la compression, flexion et traction par flexion des mortiers à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction du % en fine pour un rapport E/C =0,6 ,1% adj et C = 350 kg (CEM II-42 ,5).....	86
Figure IV.13 : Evolution de l'absorption d'eau des mortiers à base du sable de carrière, en fonction du % en fine pour les dosages en ciment (C=300-350-400 kg) et du rapport (E/C =0,6) (CEM II-42 ,5).....	87
Figure IV.14 : Evolution de l'absorption d'eau des mortiers à base du sable de carrière, en fonction du % en fine pour un dosage en ciment (C=350 kg) et du rapport (E/C =0,6-0,7) (CEM II-42 ,5).....	87

Figure IV.15 : Perte de masse des mortiers à base du sable de carrière, en fonction du % en fine pour un dosage en ciment (C=300, 350,400 kg) et du rapport(E/C =0,6) (CEM II-42 ,5).....	88
Figure IV.16 : l'augmentation de masse des mortiers à base du sable de carrière, en fonction du % en fine pour les dosages en ciment (C=300, 350,400kg) et du rapport (E/C =0,6) (CEM II-42 ,5).....	89
Figure IV.17 : Evolution du retrait dans le temps des mortiers (durcissement à l'air) à base du sable de carrière, en fonction du % en fine pour un rapport (E/C =0,6) et un dosage en ciment (C=350 kg) (CEM II-42 ,5)	90
Figure IV.18 : Evolution du gonflement dans le temps des mortiers (durcissement à l'eau) à base du sable de carrière, en fonction du % en fine pour un rapport (E/C =0,6) et un dosage en ciment (C=350 kg) (CEM II-42 ,5).....	90
Figure IV.19 : Evolution de la résistance à la compression et flexion et traction par flexion des mortiers à base du sable de carrière, (durcissement humide) en fonction du % en fine pour un rapport E/C =0,6 et C = 350 kg (CEM II-42 ,5).....	92

LISTE DES PHOTOS

CHAPITRE 3

Les caractéristiques des Matériaux utilisés

Photo III.1: Dispositif employé pour le calcul de la finesse (Perméabilimètre de Blaine).....	55
Photo III.2: Pycnomètre.....	55
Photo III.3: Dispositif employé pour le calcul de la consistance et temps de prise (Appareil Vicat)	56
Photo III.4: Localisations de la carrière d'El-hadjeb (Biskra)	58
Photo III.5: Tamis et tamiseuse électrique	60
Photo III.6: la forme des grains	60
Photo III.7: Masse volumique absolue de sable Carrière modifiée par pourcentage de fines.	62
Photo III.8: Masse volumique apparente de sable carrière.....	62
Photo III.9: équivalent de sable mesuré au piston.....	64
Photo III.10: Machine d'agitation.....	64
Photo III.11: la variation du volume apparent de sable carrière en fonction teneur en eau%	65
Photo III.12: Masse volumique apparente de fillers calcaires	67
Photo III.13: Masse volumique absolue de fillers calcaires	67
Photo III.14: Essai d'extrait sec d'adjuvant	68
Photo III.15: Essai de densité d'adjuvant	68
Photo III.16: Malaxeur d'une capacité maximale de 5 L	71
Photo III.17: La table à choc	72
Photo III.18: Les moules métalliques (4*4*16 et 5*5*5)	72
Photo III.19: éprouvette (4*4*16 et 5*5*5)	73

Photo III.20: Presse hydraulique (Machine de compression)	74
Photo III.21: les éprouvettes avant et après écrasement	74
Photo III.22: Presse hydraulique pour l'essai de traction par flexion	75
Photo III.23 : Dilatomètre à comparateur pour retrait- gonflement du mortier	77



INTRODUCTION GENERALE



INTRODUCTION GENERALE

L'augmentation rapide des activités de la construction au cours des dernières décennies a causé une augmentation considérable de la consommation des granulats naturels pour la fabrication des bétons ou mortier. Par conséquent, la disponibilité de bons granulats naturels se raréfie à cause de la surexploitation et de l'épuisement des réserves naturelles. En outre, l'extraction des granulats naturels a des effets néfastes sur l'environnement, et donc il est important de réduire leur consommation ainsi que de trouver des sources alternatives.

Pour cette raison l'utilisation du sable de concassage pour la fabrication du béton s'avère de plus en plus une nécessité pour protéger l'environnement et de répondre aux besoins du secteur de la construction et des travaux publics, du moment qu'ils existent des millions de tonnes de sable de concassage inexploités.

Cette demande a ouvert de nouvelles perspectives pour une dynamique internationale envers l'utilisation des sables de carrière (sable concassé), qui étaient rarement utilisés en raison du taux élevé en fines qu'ils contiennent. Pour cela les normes européennes (EN-206) ainsi que Algériennes (NA455) ont été révisées afin d'augmenter le taux de fines admissible. Le ministère algérien de l'habitat et de l'urbanisme en collaboration avec le Centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment /C.N.E.R.I.B recommande de ne pas dépasser un taux de fines de 18 % pour les bétons hydrauliques de classe inférieure à 20 MPa et 15 % pour des bétons de classe comprise entre 20 et 35 MPa enfin un taux de 12 % pour un béton de classe supérieure à 35 MPa, En Algérie, il existe 1010 unités de production de granulats.[1]

Les mortiers sont présents dans tous les secteurs d'activité du bâtiment et des travaux publics. Au cours des 40 dernières années, les mortiers sont devenus de plus en plus complexes. Aujourd'hui, ils associent des liants hydrauliques et de multiples adjuvants, les applications les plus importantes de tous les mortiers utilisés. Leur durabilité et résistance est intimement liée aux propriétés de ses composantes.

Ainsi, à l'heure où la préservation de l'environnement est devenue une exigence, refuser l'utilisation des sables de carrière à cause de leur forte teneur en fine n'est pas vraiment réaliste.

Par conséquent, question se posent. Est-ce qu'une grande teneur en fines signifie-t-elle forcément que le sable est inutilisable ?

Problématique :

Les agrégats sont une constituante fondamentale dans l'industrie de la construction résidentielle et des travaux publics. Les agrégats font partie des richesses naturelles au même titre que la forêt, l'agriculture, l'eau ...etc.

Grâce à l'accessibilité de ses ressources en agrégats, L'Algérie a pu offrir des coûts d'infrastructure et de logement abordables. La gestion judicieuse des ressources en agrégats et le juste équilibre des intérêts pour ces ressources assureront un approvisionnement continu à proximité du marché. La prise en compte des sables de carrières sur les caractéristiques physico-mécaniques, des mortiers, devant avoir une valeur variable en fonction de l'âge et des paramètres de formulation (dosage en ciment, en additions, en eau, en adjuvants et nature du ciment et des granulats). L'effet des fillers calcaires, issus de concassage des roches calcaires de la région de Biskra, sur les propriétés du matériau (mortier frais et durci), ont une grande influence sur les propriétés du mortier frais. Elles déterminent la maniabilité et indirectement la résistance. Il y a lieu de rechercher les quantités de fillers recommandées ou admissibles dans le mortier en fonction des conditions locales (c'est-à-dire optimiser le dosage en filler).

L'Objectif visé par le sujet :

De ce travail est d'évaluer expérimentalement l'influence des taux élevés en fines calcaires sur les caractéristiques physico-mécaniques et rhéologiques, des mortiers à base des sables de carrières.

Plan de travail :

Ce mémoire de master est organisé en quatre chapitres, précédés par une introduction générale qui définit la problématique du sujet ainsi que les objectifs visés.

Le premier chapitre : donne un aperçu général sur les principaux constituants du mortier.

Le deuxième chapitre : présent l'influence des paramètres technologiques sur les caractéristiques physico-mécaniques du mortier.

Le troisième chapitre : les caractéristiques des matériaux utilisés et les méthodes d'essais.

Le quatrième chapitre : est dédié à l'analyse des résultats et l'interprétation.



CHAPITRE I

Généralités sur le Mortiers



I.1/ Introduction :

Une construction est généralement réalisée par des éléments, donc il faut assurer la liaison ou qu'il faut protéger par un revêtement. On doit alors effectuer des scellements ou divers mélangé à du sable, de l'eau et ciment – et éventuellement un adjuvant – pour obtenir un « mortier ». Qui se distingue du béton par l'absence de gravillons.

Le mortier est un matériau complexe dont les caractéristiques physico-chimique et mécaniques des divers constituants sont différentes. Composé essentiellement de sable, de ciment et d'eau de gâchage et d'adjuvants pour améliorer certaines caractéristiques ou propriétés pour faire face à des situations bien définies. Chacun de ses composants joue un rôle bien précis dans le mélange. Les mortiers sont d'usage très répandu : maçonnerie réparation, scellements enduits sols, passe de revêtements lourds...etc. en fonction de leur utilisation, leur dosage varie de façon importante. C'est le mortier qui par la qualité de sa mise en œuvre va assurer la cohésion et la bonne répartition des charges entre assises. Il assure également un rôle de colle, et lorsqu'il comble chacun des espaces entre la pierre à bâtir, il permet de réaliser des ensembles monolithiques à la résistance variable selon la nature du mortier.

Des compositions multiples de mortiers peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables, leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

On doit choisir correctement le liant en fonction de son type et de sa classe, le ou les sables la teneur en eau (pour obtenir la plasticité désirée) et les adjuvants adaptés à la destination du mortier. Les sables utilisés sont généralement siliceux ou silico-calcaires leur granulométrie est de préférence continue. Les dosages se feront en poids plutôt qu'en volume comme c'est souvent le cas, afin d'éviter les erreurs de dosage, par suite de l'augmentation de volume du sable humide.

Dans tous les cas des soins particuliers doivent être pris afin d'obtenir des mortiers sans ressuage, homogènes d'une gâchée à l'autre. Dans ce chapitre on présenter les différents Constituants des mortiers et ses propriétés principales.

I.2/ Les Constituants des mortiers :

Classiquement, un mortier est un simple mélange de liant (chaux ou ciment) de sable et d'eau. Néanmoins, de nos jours l'emploi d'adjuvants et de différentes additions minérales est obligatoire pour atteindre des propriétés améliorées.

I.2.1/ Les liants :

Les liants sont des produits généralement employés sous forme de poudre fines et qui gâchés avec l'eau donnent une pâte plus au moins épaisse, durcissent en formant une masse dure et compacte analogue à la roche naturelle. [2]

I.2.1.1/ Le ciment :

Les Romains furent sans doute les premiers à fabriquer des liants hydrauliques susceptibles de durcir sous l'eau. Pour cela, ils mélangeaient de la chaux et des cendres volcaniques de la région de Pouzzoles. C'est de là qu'est venu le terme bien connu de « pouzzolanique », qui se dit d'un matériau capable, en présence d'eau, de fixer la chaux. En revanche, cette propriété d'hydraulicité du mélange ainsi constitué est restée totalement inexplicite jusqu'aux travaux de **Louis Vicat** qui élabore, en **1817**, la théorie de l'hydraulicité et fait connaître le résultat de ses recherches. Il donne des indications précises sur les proportions de calcaire et de silice nécessaires pour constituer le mélange qui, après cuisson à la température convenable et broyage, sera un véritable liant hydraulique fabriqué industriellement : le ciment artificiel. L'industrie du ciment était née. Quelques années plus tard, en 1824, l'Écossais **Aspdin** donnait le nom de Portland au ciment qu'il fabriquait et qui égalait les performances de la pierre de cette région. [3]

D'après la norme **NF P 15-301 de 1994** : le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière inorganique finement moulue qui, gâchée avec de l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit par suite de réactions et processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité, même sous l'eau.

La pâte de ciment, est donc le « liant » entre les différents constituants du matériau béton, son étude est donc importante pour comprendre certaines propriétés du matériau final. Elle est constituée d'anhydres, d'hydrates (produits de l'hydratation du ciment entre le ciment et l'eau) et de pores (partiellement saturés en eau). Donc le ciment est un liant minéral obtenu par décarbonatation d'un calcaire et décomposition d'une argile à une température avoisinant

les 1450 °C. Le clinker issu de ce procédé, peut avoir des compositions variables mais les oxydes principaux sont toujours les mêmes : la chaux (CaO), la silice (SiO₂), l'alumine (Al₂O₃) et la ferrite (Fe₂O₃). Le clinker est un matériau de base auquel on peut trouver nombre d'ajouts pour la préparation des ciments, qui sont disponibles sur le marché. On peut ainsi ajouter, des cendres volantes, des laitiers de hauts fourneaux, ou encore des fumées de silice. On modifie ainsi la composition du ciment et par voie de conséquence ses propriétés. Le clinker, broyé sous forme d'une poudre fine souvent d'une couleur grise, en contact avec l'eau li s'hydrate et forme des minéraux hydratés très stables.

I.2.1.1.1/ Fabrication du ciment portland :

Le constituant principal des ciments est le clinker, qui est obtenu à partir de la cuisson d'un mélange approprié de calcaire et d'argile, en proportion respective moyenne de 80 %---20 %. Les différentes étapes de la fabrication sont décrites ci-après :

➤ Extraction et concassage :

Les deux principales matières premières nécessaires à la fabrication du ciment Portland sont le calcaire (majoritairement composé de carbonate de calcium CaCO₃) et l'argile (composée principalement d'un mélange complexe et souvent hydraté de silice (SiO₂), d'alumine (Al₂O₃) et d'oxyde de fer (Fe₂O₃)). Elles sont généralement extraites des carrières à ciel ouvert situées à proximité de la cimenterie puis concassées en blocs de taille inférieure à 150 mm Le mélange (environ 20% d'argile ou de marne pour 80% de calcaire) est ensuite pré-homogénéisé. [4]

➤ Préparation de la matière première (Cru) :

Les morceaux de calcaires et d'argile sont broyés très finement et sont intimement mélangés pour donner le cru.

Deux techniques de fabrication sont utilisées : le mélange est préparé sous forme de poudre (c'est la voie sèche ou semi-sèche) ou sous forme de pâte (c'est la vois semi-humide ou humide).

La voie sèche est aujourd'hui la plus utilisée. La pratique de la préhomogénéisation affine considérablement le dosage du calcaire et de l'argile, par l'empilement de nombreuses couches des deux matières premières.

Au sortir de la pré-homogénéisation, le mélange est broyé très finement pour donner ce cru dont nous venons de parler. Le cru est ensuite ré-homogénéisé par fluidisation. La composition du cru respecte généralement les proportions suivantes [4] :

Tableau I.1 : La composition chimique du cru. [4]

Composant du cru	Proportion
Carbonate de calcium (CaCO_3)	77 à 83 %
Silice (SiO_2)	13 à 14%
Alumine (Al_2O_3)	2 à 4%
Oxyde de fer (Fe_2O_3)	1,5 à 3 %

➤ Cuisson du cru :

Un échangeur de chaleur comportant une série de quatre à cinq cyclones dans lesquels la poudre déversée à la partie supérieure descend vers l'entrée du four rotatif. Elle se réchauffe au contact des gaz chauds circulant à contre-courant, en sortant de ce four, et se décarbonate en partie. Une décarbonatation plus complète peut être obtenue par l'ajout d'un foyer complémentaire situé dans le cyclone inférieur (pré calcination). La poudre est ainsi portée à une température comprise entre 800 °C et 1000 °C.

Un four horizontal rotatif cylindrique en acier (avec revêtement intérieur réfractaire) de 50 à 90 m de long, de 4 à 5 m de diamètre, légèrement incliné et tournant de 1 à 3 tours/minute. La matière pénètre à l'amont du four (en partie haute) où s'achève la décarbonatation, et progresse jusqu'à la zone de **clinkérisation** (environ 1450 °C). Le temps de parcours est de l'ordre d'une heure. Sous l'effet de la chaleur, les constituants de l'argile, principalement composée de silicates d'alumine et d'oxydes de fer, se combinent à la chaux provenant du calcaire pour donner des silicates et des aluminates de calcium. Tout en améliorant la qualité des produits, les industriels ont fortement réduit au cours des dernières années la consommation d'énergie nécessaire à la cuisson, qui est de plus en plus apportée par des combustibles de substitution. En outre, l'industrie cimentière contribue aussi à la protection de l'environnement en valorisant les sous-produits industriels, inutilisables pour d'autres emplois. Les rejets des usines sont sensiblement inférieurs aux normes. [3]

➤ Broyage :

À la fin de la cuisson, la matière brusquement refroidie se présente sous forme de granules qui

Constituent le clinker. Celui-ci, finement **broyé** avec du gypse (moins de 5 %) pour régulariser la prise, donne le ciment Portland. Les autres types de ciment sont obtenus en ajoutant d'autres constituants tels que du laitier de haut fourneau, des cendres volantes, des schistes calcinés, du calcaire, des fumées de silice ou encore des fillers. [3]

Le principe de la fabrication du ciment est le suivant : calcaires et argiles sont extraits des carrières, puis concassés, homogénéisés, portés à haute température (1450 °C) dans un four. Le produit obtenu après refroidissement rapide (la trempe) est le clinker.

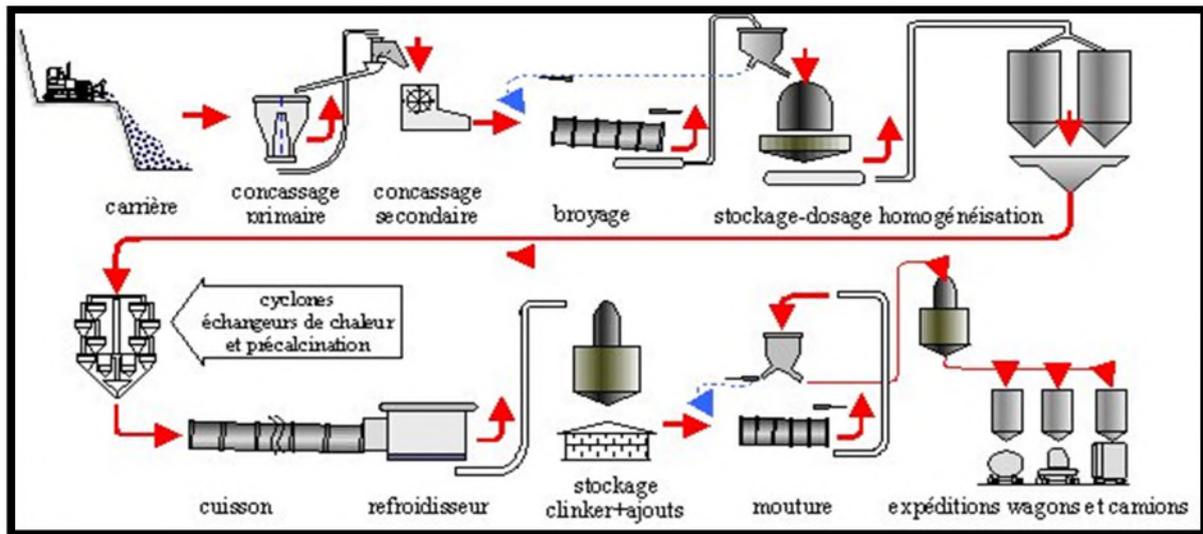


Figure I.1 : principe de fabrication de ciment. [5]

I.2.1.1.2/ Les constituants de base du ciment :

I.2.1.1.2.1/ Le clinker :

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkérisation) du mélange (calcaire + argile) dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO_2) et de l'alumine (Al_2O_3). Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne...) ,C'est le clinker qui par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse), Jouant le rôle de régulateur, donne des « portland » et confère aux ciments de ce groupe leurs propriétés caractéristiques. [6]

Le clinker contient un certain nombre de constituants dont la teneur varie suivant la catégorie de ciment considérée et dont l'influence est plus ou moins grande sur les propriétés de ces ciments. [7]

Les éléments simples (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 et Fe_2O_3) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants (Figure (I.2)) :

- Les silicates tricalciques ou Alite (C_3S) : $3CaO.SiO_2$
- Les silicates bis calciques ou Belite (C_2S) : $2CaO.SiO_2$
- Les aluminates tricalciques (C_3A) : $3CaO.Al_2O_3$
- Les alumino–ferrites tétra calciques ou Célite (C_4AF) : $4CaO. Al_2O_3.Fe_2O_3$

Autres : (sulfates, alcalins, impuretés ...)

Les silicates de calcium C_3S et C_2S représentent à peu près 75 % de la masse du ciment. Les caractéristiques granulaires du ciment sont exprimées par sa granulométrie et sa finesse de $4000 \text{ cm}^3 / \text{g}$ et plus pour les ciments à forte résistance au jeune âge.

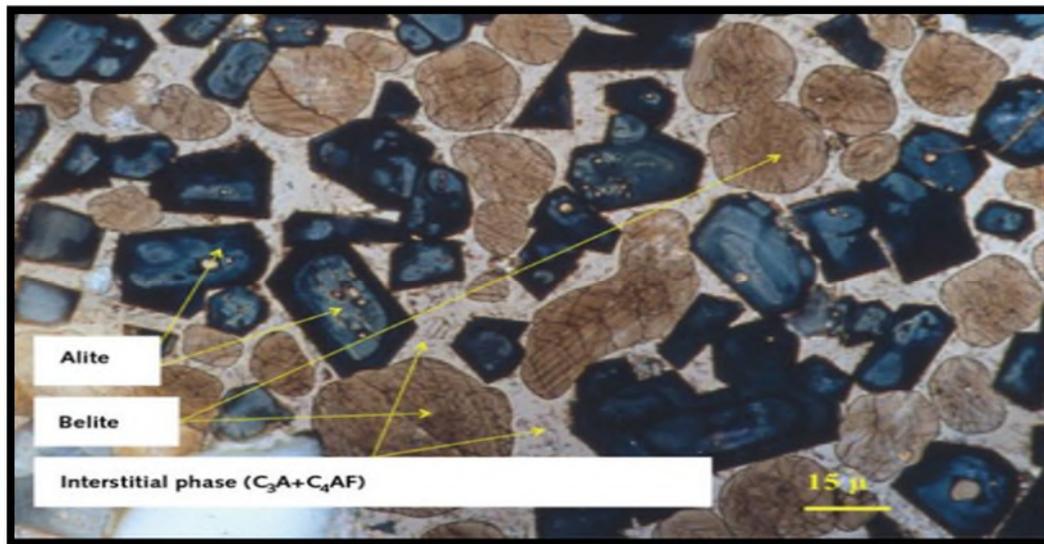


Figure I.2 : Microphotographie d'un clinker. [8]

Les compositions chimiques et minéralogiques du clinker sont comprises dans les limites données par Les tableau ci –dessous :

Tableau I.2 : Composition minéralogique du clinker. [9]

Composants Minéralogiques	Teneurs limites (%)	Teneur moyenne (%)
C_3S	40-70	60
C_2S	00-30	15
C_3A	02-15	08
C_4AF	00-15	08

Tableau I.3 : Composition chimique du clinker. [9]

Composition chimique (oxydes)	Teneurs limites (%)	Teneur moyenne (%)
CaO	60-69	65
SiO ₂	18-24	21
Al ₂ O ₃	04-08	06
Fe ₂ O ₃	01-08	03
MgO	< 05	02
K ₂ O, Na ₂ O ₃	< 02	01
SO ₃	< 03	01

I.2.1.1.2.2/ Le gypse (CaSO₄) :

L'addition de gypse au clinker a pour but de régulariser la prise du ciment, notamment de ceux qui contiennent des proportions importantes d'aluminate tricalcique. Grâce à ce gypse, la prise du ciment, c'est-à-dire le début de son durcissement, s'effectue au plus tôt une demi-heure après le début de l'hydratation. Sans gypse, la prise serait irrégulière et pourrait intervenir trop rapidement. [5]

I.1.1.1.2.3/ Les ajouts :

a- Laitier granulé de haut fourneau (S) :

Le laitier granulé de haut-fourneau est obtenu par refroidissement rapide de la scorie fondue provenant de la fusion du minerai de fer dans un haut fourneau. C'est donc un coproduit de la fabrication de la fonte. Il doit présenter des propriétés hydrauliques latentes (c'est-à-dire qui se manifestent lorsqu'il a subi une activation) pour convenir à son emploi comme constituant du ciment. Il est composé principalement d'oxydes de calcium de silice et d'alumine. [3]

b- Cendres volantes (v ou w) :

Elles sont les produits pulvérulents de grande finesse, provenant du dépoussiérage des gaz de Combustion des centrales thermiques. On distingue [10] :

- ❖ Les cendres volantes siliceuses (**V**) qui ont des propriétés pouzzolaniques.
- ❖ Les cendres volantes calciques (**W**) qui ont des propriétés hydrauliques.

c- Pouzzolanes naturelles ou naturelles calcinées :

Les pouzzolanes naturelles sont des produits essentiellement composés de silice d'alumine et d'oxyde de fer présentant, soit naturellement (lorsqu'elles sont d'origine volcanique) soit après activation thermique, des propriétés pouzzolaniques. Les pouzzolanes doivent leur nom aux cendres volcaniques de la région de Pouzzoles, en Italie, qui étaient utilisées par les Romains pour la confection de leur liant hydraulique. Les pouzzolanes n'ont pas de propriétés hydrauliques intrinsèques mais, en présence de la chaux libérée par le clinker au cours de son hydratation, elles forment elles aussi des hydrates stables, semblables à ceux qui sont formés à la suite de l'hydratation du clinker. [3]

d- Schistes calcinés (T) :

Ce sont des schistes que l'on porte à une température d'environ 800 °C dans un four spécial. Finement broyés ils présentent de fortes propriétés hydrauliques et aussi pouzzolaniques. [10]

e- Fumée de silice (D) :

Les fumées de silices sont un sous-produit de l'industrie du silicium et de ses alliages. Elles sont formées de particules sphériques de très faible diamètre (de l'ordre de 0,1µm). Pour entrer dans la composition d'un ciment en tant que constituant principal, elles doivent être présentes pour au moins 85 % (en masse). Les fumées de silices ont des propriétés pouzzolaniques. [10]

f- Fillers :

Produit obtenu par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches (calcaire, basalte, laitier, cendres volantes...) naturelles ou non, agissant principalement, grâce à une granularité appropriée, par leurs propriétés physiques sur certaines qualités du ciment (accroissement de maniabilité, diminution de perméabilité et de capillarité, réduction de la fissurabilité...) les fillers sont inertes s'ils n'ont aucune action chimique sur les ciments en présence d'eau ils sont actifs s'ils ont, même partiellement, des propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques en présence de ciment et d'eau. [10]

I.2.1.1.3/ Classification de ciment :

Les différents types de ciments (Extrait de la norme **NF EN 197-1**, article 6, tableau 1) il y a un liste des 27 ciments courants données par la **Figure (I.3)** ci –dessous :

Ciment Portland	: CEM I
Ciment Portland au laitier	: CEM II / A – S ; CEM II / B – S
Ciment Portland à la fumée de silice	: CEM II / A – D
Ciment Portland à la pouzzolane	: CEM II / A – P ; CEM II / B – P
	: CEM II / A – Q ; CEM II / B – Q
Ciment Portland aux cendres volantes	: CEM II / A – V ; CEM II / B – V
	: CEM II / A – W ; CEM II / B – W
Ciment Portland aux schistes calcinés	: CEM II / A – T ; CEM II / B – T
Ciment Portland au calcaire	: CEM II / A – L ; CEM II / B – L
	: CEM II / A – LL ; CEM II / B – LL
Ciment Portland composé	: CEM II / A – M ; CEM II / B – M
Ciment de laitier de haut-fourneau	: CEM III/A ; CEM III/B ; CEM III / C
Ciment pouzzolanique	: CEM IV/A ; CEM IV/B
Ciment composé	: CEM V/A ; CEM V /B

Figure I.3 : liste des 27 ciments courants.

I.2.1.1.3.1/ Classification de ciment en fonction de leur composante :

Les ciments constitués de clinker et des constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en 27 types de ciments principaux par la norme **NF EN 197-1**. Dans le **Tableau I.4**, Ils sont numérotés de 1 à 5 en chiffres romains est la codification du nom complètement de ciments courants dans cette **Figure (I.4)** :

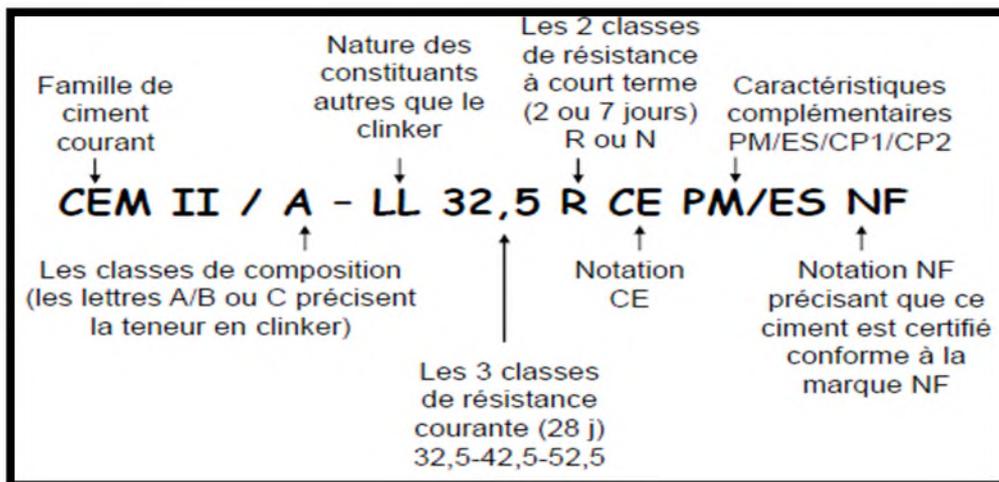


Figure I.4 : Codification du nom des ciments.

Tableau I.4 : les différents types de ciments en fonction de leur composante.

Tableau 1 — Les 27 produits de la famille des ciments courants

Principaux types	Notation des 27 produits (types de ciment courant)		Composition (pourcentage en masse) ^{a)}										Constituants secondaires		
			Constituants principaux												
			Clinker K	Laitier de haut fourneau S	Fumée de silice D ^{b)}	Pouzzolanes		Cendres volantes		Schiste calciné T	Calcaire				
Naturelle P	Naturelle calcinée Q	Siliceuse V				Calciq W	L	LL							
CEM I	Ciment Portland	CEM I	95-100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM II	Ciment Portland au laitier	CEM II/A-S	80-94	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la fumée de silice	CEM II/A-D	90-94	—	6-10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland à la pouzzolane	CEM II/A-P	80-94	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-P	65-79	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland aux cendres volantes	CEM II/A-V	80-94	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-V	65-79	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/A-W	80-94	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-W	65-79	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au schiste calciné	CEM II/A-T	80-94	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	—	—	0-5
		CEM II/B-T	65-79	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	—	—	0-5
	Ciment Portland au calcaire	CEM II/A-L	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	—	0-5
		CEM II/B-L	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	—	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6-20	—	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21-35	—	0-5
	Ciment Portland composé ^{c)}	CEM II/A-M	80-94	←———— 6-20 —————→								—	—	—	0-5
CEM II/B-M		65-79	←———— 21-35 —————→								—	—	—	0-5	
CEM III	Ciment de haut fourneau	CEM III/A	35-64	36-65	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0-5
CEM IV	Ciment pouzzolanique ^{c)}	CEM IV/A	65-89	—	←———— 11-35 —————→				—	—	—	—	0-5		
		CEM IV/B	45-64	—	←———— 36-55 —————→				—	—	—	—	0-5		
CEM V	Ciment composé ^{c)}	CEM V/A	40-64	18-30	—	← 18-30 →		—	—	—	—	—	—	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50	—	← 31-50 →		—	—	—	—	—	—	0-5	

a) Les valeurs indiquées se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires.
b) La proportion de fumées de silice est limitée à 10 %.
c) Dans le cas des ciments Portland composés CEM II/A-M et CEM II/B-M, des ciments pouzzolaniques CEM IV/A et CEM IV/B et des ciments composés CEM V/A et CEM V/B, les constituants principaux, autres que le clinker, doivent être déclarés dans la désignation du ciment (voir un exemple à l'article 8).

Autres ciments :

- **Ciment de laitier à la chaux : CLX (NF P 15-306)**

Ce ciment est un mélange de chaux hydrauliques et de laitier granulé de haut fourneau.

- **Ciment à maçonner** : CM (NF P 15-307)

Ce ciment contient les mêmes éléments actifs que le CPA mais ses résistances sont moins élevées.

- **Ciment prompt naturel** : CNP (NF P 15-314)

Le ciment prompt naturel, à prise et durcissement rapides, résulte de la cuisson à température modérée d'un calcaire argileux de composition régulière, extrait de bancs homogènes, suivi d'un broyage fin.

- **Ciment alumineux fondu** : CA (NF P 15-315)

Le ciment alumineux fondu est un liant hydraulique qui résulte de la mouture, après cuisson jusqu'à fusion, d'un mélange composé principalement d'alumine, de chaux, d'oxydes de fer et de silice, dans des proportions telles que le ciment obtenu renferme au moins 30 % de sa masse d'alumine. Il est réfractaire.

- **Ciment pour travaux à la mer** : PM (NF P 15-317)

Ces ciments présentent des teneurs limitées en aluminates tricalciques qui leur permettent de conférer au béton une résistance accrue à l'agression des ions sulfate en présence des ions chlorure. [11]

I.2.1.1.3.2/ Classification des ciments suivant les résistances à la compression :

La norme NF EN 197-1, classe de ciment courant d'après leur résistance à la compression (résistance normale), mesurée à 28 jours en six classes de résistance selon le **tableau(I.5)**

Tableau I.5 : Exigences mécaniques définies en termes de valeur caractéristiques.

Classe de résistance	Résistance à la compression (MPa)			
	Résistance à court terme		Résistance courante	
	2 jours	7 jours	28 jours	
32,5 N	—	$\geq 16,0$	$\geq 32,5$	$\leq 52,5$
32,5 R	$\geq 10,0$	—	$\geq 42,5$	$\leq 62,5$
42,5 N	$\geq 10,0$	—		
42,5 R	$\geq 20,0$	—	$\geq 52,5$	—
52,5 N	$\geq 20,0$	—		
52,5 R	$\geq 30,0$	—		

I.2.1.1.4/ Caractéristique du ciment :

I.2.1.1.4.1/ Phase dormante :

La pâte de ciment – ciment + eau – reste en apparence inchangée pendant un certain temps (De quelques minutes à plusieurs heures suivant la nature du ciment et la température). En fait, dès le malaxage, les premières réactions se produisent, mais elles sont ralenties par la présence du gypse. [3]

I.2.1.1.4.2/ Prise :

La prise du ciment c'est-à-dire le passage de la pâte de ciment (ciment + eau) d'une consistance fluide à un état solide est une phase essentielle dans la fabrication du béton ou mortier puisqu'elle donne sa cohésion au matériau.

La norme spécifie, suivant les ciments, un temps de prise minimal de : **1h30** pour les ciments des classes : **32,5** et **32.5R**. Et **1h** pour les ciments des classes : **42,5-42,5R-52,5-52,5R**. D'une façon générale les temps de prise sont supérieurs à ces valeurs minimales, l'ordre de grandeur étant de 2h 30 à 3h30 pour la grande majorité des ciments, ces valeurs s'entendant pour une température ambiante de 20°C. [5]

I.2.1.1.4.3/ Durcissement :

Une fois la prise amorcée, le phénomène d'hydratation se poursuit, c'est la période de durcissement rapide qui se poursuit pendant des mois voire des années au cours desquelles les résistances mécaniques continuent de croître. Lorsqu'on désire un durcissement rapide, on choisit des ciments de classe élevée et de préférence de classe « **R** » c'est-à-dire ayant la caractéristique complémentaire. « Rapide ». il est également possible d'utiliser du ciment alumineux fondu CA, qui après quelques jours a atteint la quasi-totalité de sa résistance. [2]



Figure I.5 : le développement de la pâte de ciment avec les temps [2]

Comme le phénomène de prise, le durcissement est sensible à la température. Le phénomène de prise du ciment est lié à de nombreux paramètres tels que :

- La température : à zéro degré la prise est stoppée, plus la température est élevée plus la prise est rapide. (**Figure (I.6)**)
- La nature du ciment. et E/C (eau/ciment). (**Figure (I.7)**)
- La finesse de mouture du ciment, plus son broyage a été poussée, plus le temps de prise n'est court.
- La présence de matière organique dans l'eau ou dans l'un des autres constituants du béton qui ralentit la prise.
- L'excès d'eau de gâchage qui a, entre autres inconvénients, une action retardatrice sur la prise Pratiquement tous les ciments ont des temps de prise de l'ordre de 2h30à 3h. [12]

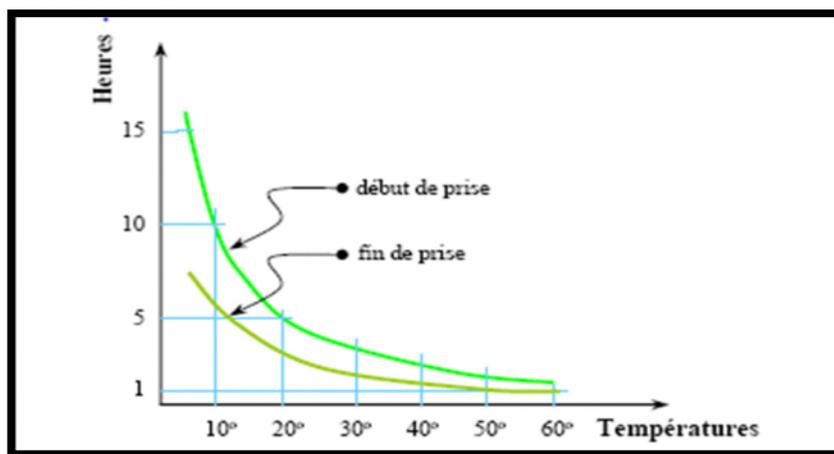


Figure I.6 : influence de la température sur la prise des ciments. [12]



Figure I.7 : influence de l'E/C (eau/ciment) sur le temps de prise. [12]

Le ciment se caractérise par un certain nombre de critères mesurés de façon conventionnelle, soit sur la poudre, soit sur la pâte, soit sur le « mortier normal » mélange normalisé de ciment, de sable et d'eau.

I.2.1.1.4.4/ Finesse du ciment (finesse de Blaine) :

Elle est caractérisée par la surface spécifique des grains de ciment, exprimé en (cm^2/g) dans les cas courants, elle est de l'ordre (norme NF EN 196-6).de 2800 et 5000 cm^2/g . Plus la finesse de mouture est grande, plus la vitesse des réactions d'hydratation est élevée et plus ces résistances mécaniques à un âge jeune sont grandes, par contre plus le ciment est sensible à l'éventuellement et plus le retrait est important. En outre, la finesse de mouture influence la plasticité et la cohésion de la pâte de ciment à l'état frais, ainsi que son pouvoir de rétention d'eau et la ressuée. [13]

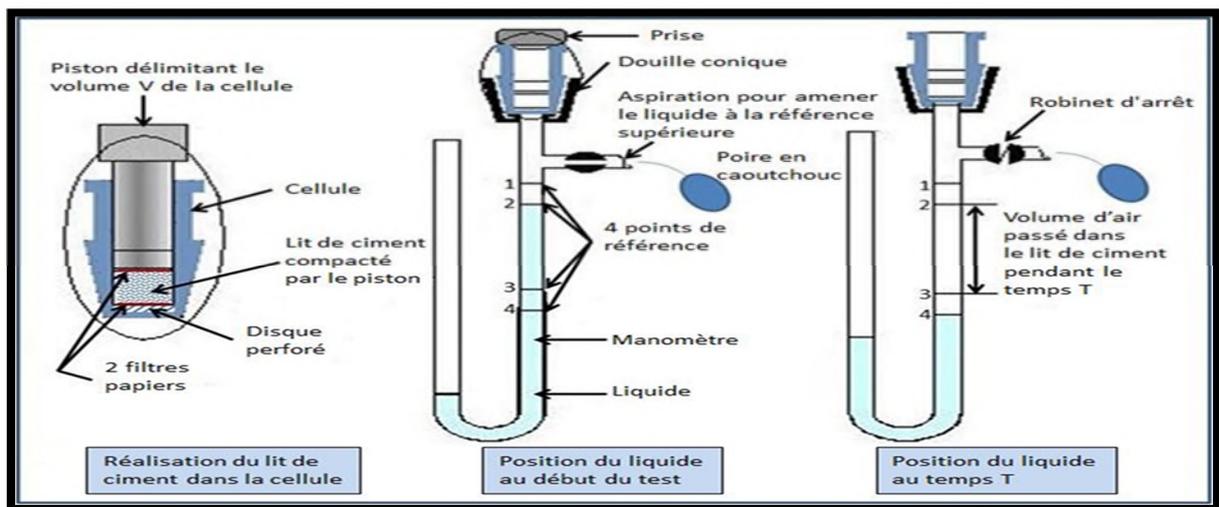


Figure I.8 : Principe de la méthode Blaine. [14]

I.2.1.1.4.5/ Le retrait :

La pâte de ciment se rétracte dans l'air sec (alors qu'au contraire elle gonfle dans l'eau), ce phénomène se poursuivant dans le temps et ceci pendant des durées d'autant plus longues que les pièces sont massives. C'est le retrait qui est cause des fissures que l'on observe dans des pièces en béton et mortier.

L'importance du retrait hydraulique, en dehors du facteur de temps, est en fonction de nombreux paramètres parmi lesquels :

- La nature du ciment.
- Le dosage en E/C (la figure I.9)
- La propriété des sables.
- La forme et la dimension du granulat. [13]

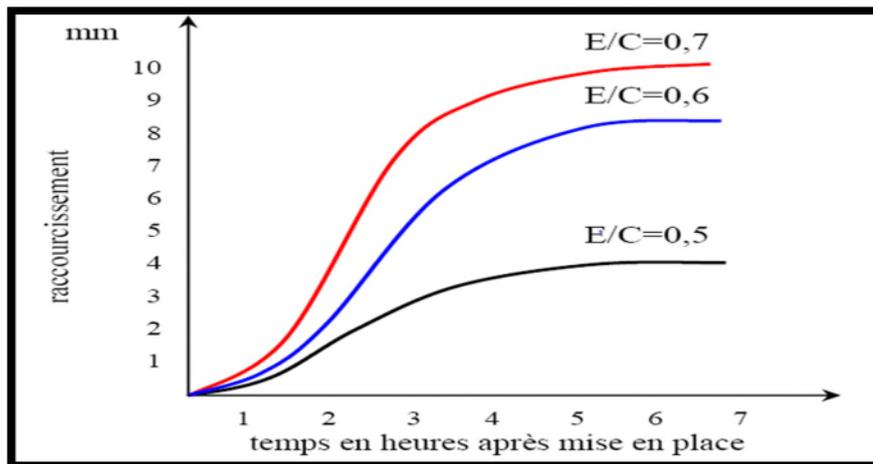


Figure I.9 : influence d'E/C sur le retrait des mortiers. [13]

On mesure le retrait sur des éprouvettes prismatiques de mortier de 16 cm de longueur et d'une section droite de 4×4cm, conservées dans l'air à une température de 20°C et une hygrométrie de 50 %. [12]

Les valeurs limites, à 28 jours de :

- **800 μm/m** pour les ciments portland CPA-CEM I et CPJ-CEM II de classe 32,5 R.
- **1000 μm/m** pour types de ciment identique mais des classes 32,5 R - 42,5 et 42,5 R.

I.2.1.1.4.6/ Gonflement :

Si l'élément se trouve dans une atmosphère à humidité relative supérieure à celle d'équilibre de l'élément, les dimensions de ce dernier augmentent : c'est le gonflement. Ce qui entraîne l'apparition des tensions internes. [5]

I.2.1.1.4.7/ L'hydratation :

Le ciment est un liant hydraulique qui donne lorsqu'il se combine à l'eau, des hydrates stables qui lui confèrent une résistance mécanique. La réaction chimique d'hydratation du ciment regroupe la totalité des réactions entre le ciment et l'eau dès le début du gâchage et qui se poursuivent dans le temps, pendant plusieurs mois. Les mécanismes fondamentaux de l'hydratation du ciment ont été mis en lumière dès la fin du 19^{ème} siècle par **Henri LE CHATELIER (1887)**. Il a notamment décrit trois étapes relatives à la prise du ciment [15] :

- La dissolution des constituants du ciment dans l'eau.

- La formation de solutions sursaturées par rapport aux différents hydrates.
- La précipitation et la cristallisation de ces hydrates dans les vides inters granulaires.

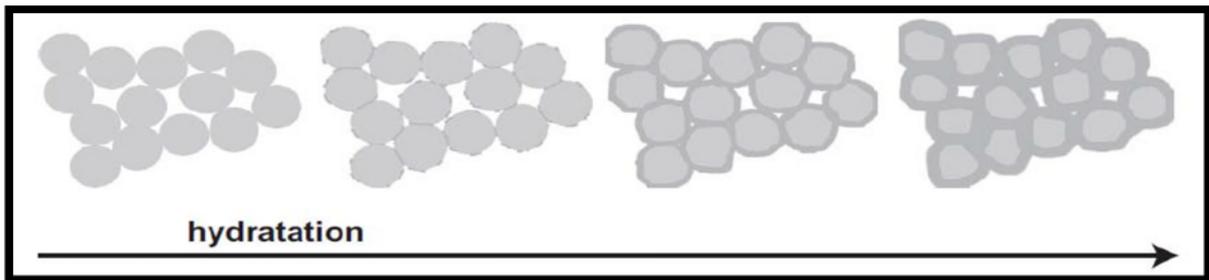


Figure I.10 : Représentation bidimensionnelle de l'empilement de grains de ciment dans la pâte. [16]

a) Le type d'Hydratation :

➤ Hydratation des silicates de Calcium :

Au contact de l'eau, les silicates tricalciques (C_3S) et les silicates bicalciques (C_2S) se dissolvent sous forme d'ions Ca^{2+} , OH^- et $H_2SiO_4^{2-}$. Qui interagissent entre eux et forment des silicates de calcium hydratés ($C-S-H$) et du portlandien ($Ca(OH)_2$). Ces réactions sont exothermiques et peuvent servir de catalyseur à la réaction d'hydratation. Dans le cas du C_2S , la cinétique d'hydratation est plus lente et la quantité de Portlandite formée est plus faible.

Titre indicatif, les équations des réactions d'hydratation des silicates peuvent s'écrire [17] :



➤ Hydratation des aluminates de Calcium :

L'aluminate tricalcique C_3A est le composé du ciment le plus réactif avec l'eau. C'est parce que l'hydratation des aluminates est très rapide que les cimentiers ajoutent du sulfate sous forme du gypse au clinker pour contrôler ces réactions. [17] :



➤ Hydratation de L'aluminoferrite tétra calcique :

En ce qui concerne l'hydratation du C_4AF , elle conduit à la précipitation du même type de composés que ceux qui sont formés à partir de la dissolution du C_3A , en particulier lorsque

celle-ci est réalisée en présence d'hydroxyde de calcium. Dans ce cas, une partie des ions Al^{3+} dans les hydrates sont substitués par des ions Fe^{3+} . Dans le cas contraire, une partie importante du fer précipite sous forme d'hydroxyde de fer, $Fe(OH)_3$ [17]

b) Propriétés des principales phases Hydrates :

➤ La Portlandite :

La Portlandite est le nom minéralogique de l'hydroxyde de calcium cristallisé. Son nom vient, bien sûr, du fait qu'on la trouve dans le ciment Portland hydraté. C'est la phase la plus soluble de la pâte de ciment hydratée (1,6 g/L ce qui correspond à un pH de 12,6). Sa présence dans la pâte de ciment, par son équilibre de solubilité maintient le pH élevé de la solution interstitielle. C'est également une des phases les mieux cristallisées **Figure (I.11)**. Elle cristallise sous forme de cristaux hexagonaux plus ou moins développés dans la pâte de ciment, les pores et l'interface pâte/granulat.

➤ Les Silicates de calcium hydratés (C-S-H) :

Les C-S-H constituent la majeure partie de la phase liante de la pâte de ciment. On parle souvent de gel de C-S-H se référant à des composés amorphes. Ce sont en fait des composés nanocristallins constitués de particules nanométriques agrégées les unes aux autres. La principale caractéristique du C-S-H est qu'il porte une forte densité de charges électriques de surface. En ce qui concerne sa stabilité le C-S-H est très peu soluble dans une solution saturée par rapport à la portlandite (de l'ordre de 1 mg/L), sa solubilité augmente quand la concentration en hydroxyde de calcium en solution diminue et si le pH descend en dessous de 10, il se dissout au profit de la silice qui devient moins soluble.

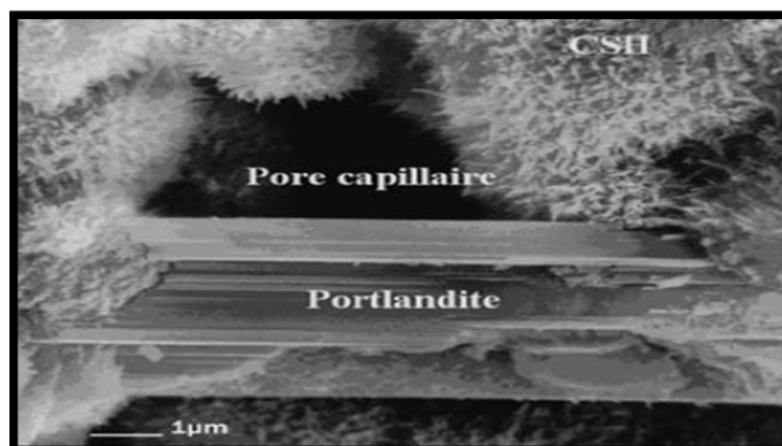


Figure I.11 : Morphologie du C-S-H et Cristaux de Portlandite. [16]

I.2.1.1.4.8/ La masse volumique :**➤ Apparente :**

Représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments inclus). Elle est de l'ordre de 800 à 1300 kg/m³ (1 kg par litre) en moyenne pour un ciment. [3]

➤ Absolue :

Représente la masse de la poudre par unité de volume (vides entre les éléments exclus). Elle varie de 2 900 à 3150 kg/m³ suivant le type de ciment. [3]

I.2.1.1.4.9/ Les résistances mécaniques :**a) La résistance à la compression :**

Les normes **AFNOR** actuellement en vigueur prévoient pour chaque produit une ou plusieurs, Classe de résistance à la compression définie, pour un liant donné, par la résistance minimale D'éprouvettes en mortier normal atteinte au bout de 2 ou 7 jours et 28 jours. La classe est désignée par la résistance moyenne à 28 jours exprimée en méga pascals. C'est en général ce critère, qui avec la résistance chimique (à l'action d'eaux nocives, D'atmosphères corrosives, etc.), sera retenu pour choisir le ciment à utiliser dans un ouvrage Ou élément d'ouvrage déterminé en ce qui concerne le comportement des ouvrages à long Terme. [18]

b) La résistance à la traction :

La résistance à la traction est un critère intéressant de la qualité d'un ciment, et nous Recommandons vivement de faire des essais de traction par flexion. La résistance à la traction est systématiquement constatée au cours des essais mécaniques, Mais ne figure au procès-verbal que sur demande de l'utilisateur et ce critère a été totalement Supprimé dans les nouvelles normes. [18]

I.2.1.2/ La Chaux :**I.2.1.2.1/ Définition :**

La chaux est un terme générique couramment employé pour désigner un grand nombre de produits : chaux vive, chaux aérienne ou chaux hydraulique. La chaux vive CaO : Est obtenue par décarbonatation du calcaire à partir de 600° C. Elle peut par la suite être éteinte en pulvérisant de l'eau dessus pour obtenir de la chaux éteinte Ca (OH) 2. La cuisson d'un calcaire quasiment pur donne de la chaux aérienne dont l'indice d'hydraulicité est inférieur à

0,1. La présence d'argile dans le calcaire apporte, lors de la cuisson, les silicates et aluminates qui constituent les éléments hydrauliques et permet la fabrication de la chaux appelée hydraulique (indice d'hydraulicité compris entre 0,14 et 0,5).

La prise de la chaux hydraulique peut s'effectuer dans l'eau, tandis que la chaux aérienne, si elle n'est pas mélangée à du ciment, ne peut faire prise qu'en se carbonatant au contact de l'air. Nous nous intéresserons uniquement dans cette partie à la chaux aérienne utilisée comme ajout dans les mortiers qu'on appelle alors mortiers bâtards. [19]

I.2.2/ L'eau :

On entend par « eau efficace » la quantité d'eau contenue dans le mortier frais, qui est prise en compte lors du calcul du rapport E/C. L'eau efficace comprend :

- L'eau de gâchage.
- L'humidité superficielle des granulats.
- L'eau apportée par les adjuvants et les additions, si leur quantité totale s'élève à plus de 3 L/m³. [20]

I.2.2.1/ L'eau de gâchage :

L'eau remplit un double rôle : elle sert à hydrater le ciment et ce qui est plus important, elle contribue à son ouvrabilité. Il convient de noter que les exigences relatives à l'eau de gâchage diffèrent beaucoup pour les mortiers et le béton. Dans le cas du béton, un faible rapport eau-ciment est préférable. Les mortiers doivent contenir la quantité d'eau maximale compatible avec une ouvrabilité optimale. L'eau doit être propre et ne pas contenir de produits nocifs tels que des acides, des alcalis ou des matières organiques. Lorsqu'elle est potable, on peut l'utiliser. Généralement les caractéristiques des eaux requises pour la confection des mortiers sont des bétons sont précisées dans la norme **NF EN 1008**. [20]

En sachant le rôle de l'eau dans le mortier on peut dire que toutes les eaux ne peuvent être utilisées pour gâcher du mortier parce qu'elles contiennent, dans certains cas, un excès d'impuretés qui détériorent les propriétés physiques et mécaniques (prise et consistance), les propriétés esthétiques (tache, efflorescences), la durabilité (corrosion des armatures, stabilité du mortier). [21]

I.2.2.2/ Type des eaux :

Ces impuretés éventuellement contenues dans l'eau de gâchage, sont soit des composés chimiques qui peuvent être actifs vis-à-vis du ciment, du sable soit des particules en suspension qui, du fait de leur quantité ou de leur qualité sont indésirables. Il a trois types de molécules d'eau dans les pâtes de ciment durcies [22] :

L'eau chimiquement liée : Elle n'est plus considérée comme faisant partie de la phase liquide car cette eau est combinée aux hydrates, dont elle fait partie, sous forme d'eau de cristallisation.

L'eau adsorbée : c'est l'eau fixée à la surface du solide, Elle est constituée par les couches de molécules d'eau sur la surface solide des **pores** soumises aux champs des forces électrostatiques superficielles des particules la structure électronique de la molécule d'eau ne varie que très peu dans ce cas –là.

L'eau libre : Cette eau échappe aux forces superficielles des particules solides. En excès par rapport à l'eau nécessaire à l'hydratation, elle se trouve dans les pores capillaires en particulier les macropores. Elle migre la première lors du ressuage et de la dessiccation.

I.2.3/ Les granulats :

On appelle granulats des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et mortiers. Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (Gros et Fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton. [3]

I.2.3.1/ Les différents Types de granulats :

Les granulats utilisés pour le béton ou mortier sont d'origine naturelle, artificielle ou recyclée :

«**Naturels**» d'origine minérale, issus de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).

«**Artificiels**» d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.

«Recyclés» obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments.

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton il est proviennent de trois natures de roches :

Tableau I.6 : Différents types de granulats issus de roches massives. [3]

<i>Différents types de granulats issus de roches massives</i>	
<i>Types de roches massives</i>	<i>Exemple de famille de granulats</i>
Roche magmatique Roche éruptive	Granite, rhyolite, porphyre, diorite, basalte, etc.
Roche sédimentaire	Grès, grès quartziques, silex, calcaires, etc.
Roche métamorphique	Gneiss, micaschistes, quartzites, etc.

I.2.3.2/ Les Sables :

Le sable est un élément essentiel entrant dans la composition du béton et mortier. Son utilisation permet d'assurer une continuité granulaire nécessaire entre le ciment et le gravier pour une meilleure cohésion du béton. Le sable naturel qui est le plus couramment employé comme granulat fin au béton ou au mortier, pour les besoins de la construction et des travaux publics. Sable en entend tous granulats **0/D** conformes aux définitions des normes **NF P 18-101** et **NF P 18-301**. On appelle 'sables' les granulats de petites dimension issues de désagrégation des roches, les sables sont chimiquement inertes. Le sable est l'élément qui assure au béton et au mortier, Selon ses qualité une influence prépondérante : il participe à la résistance, il donne la cohésion Au mélange. [23]

I.2.3.2.1/ Classification Des Sables :

A-Suivant les grosseurs des grains minimale et maximale :

- Sable finde 0.08 à 0.135mm
- Sable moyen.....de 0.135 à 2 mm
- Sable gros.....de 2 à 5 mm



Figure I.12 : Les différentes dimensions des sables. [23]

B-Classification des sables selon leurs provenances :

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit :

➤ **Sable de rivière :**

Il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons. [24]

➤ **Sable de Mer :**

Il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel. [24]

➤ **Sable de dune :**

C'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara. [25]

➤ **Sable de concassage :**

Connu aussi sous l'appellation du sable de carrière, est obtenu à partir du concassage des roches calcaires, andésite, granite, dolomie et basalte. Ses dimensions se situent entre 0 et 6 mm. En raison du processus de broyage, le sable de concassage diffère des sables naturels par la granulométrie, la forme et la texture des particules, de même il contient généralement entre 10 % et 20 % de fines (les particules passant au tamis de 80 μ m). Les fines sont généralement très probablement les plus petites fractions granulométriques de granulat concassé dans le

sable de concassage, il faut limiter le pourcentage des fines. Alors que dans les sables naturels, les fines peuvent être des argiles ou autres particules nocives. [26]

C- Suivant les valeurs de module de finesse M_F (Norme Française NFP 18-540) :

- $M_F = 1.8$ ----- 2.2 : le sable est à majorité de grains fins.
- $M_F = 2.2$ ----- 2.8 : On est en présence d'un sable préférentiel.
- $M_F = 2.8$ ----- 3.3 : le sable est un peu grossier. Il donnera des bétons résistants mais moins maniabiles. [23]

I.2.3.2./ Les caractéristiques des sables :

A fins d'obtenir de bons mortier durables et résistants, il faudrait que l'étude des constituants de ces mortier soit rigoureuse. On cite quelques caractéristiques :

I.2.3.2.1/ La granulométrie :

➤ Analyse granulométrique :

Elle est exprimée par la détermination de la distribution en pois des particules d'un matériau suivant leurs dimensions. La granulométrie doit être continue ce qui minimise la porosité en diminuant ainsi les vides, ceci conduit à bonne maniabilité due à la présence d'éléments de tout fraction. [27]

Tableau I.7 : classification normalisée des sables. [27]

Granulat		Ecartement des mailles des tamis (mm)
Fines		< 0.08
Sable	Fine	0.08 - 0.315
	Moyen	0.315 - 2
	Gros	2.00- 5.00

➤ Module de finesse :

Les sables sont caractérisés par le module de finesse (M_F). Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimés en pourcentages, sur différents tamis. Le module de finesse surtout utilisé pour les sables permet de caractériser leur granularité par une seule valeur. Celle-ci dépend surtout de la teneur en grains fins du

sable. Plus le module de finesse est faible plus le sable est fin. **Le tableau I.8** présente la série des tamis employés pour la caractérisation du module de finesse.

Tableau I.8 : Séries de tamis employés pour la détermination du module de finesse du sable. [23]

01	Tamis :	0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 mm	" NF P 18-540"
02	Tamis :	0.125-0.25-0.5-1-2 et 4 mm	" EN 12620"

I.2.3.2.2.2/ Caractéristique physico-chimiques :

➤ Equivalent de sable :

Il est défini par la norme **NFP 18-598** : cet essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent. [5]

L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de détermination un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- **Hauteur h1** : sable propre +éléments fins (floculat).
- **Hauteur h2** : sable propre seulement.

Existe deux types d'essai : visuel ou au piston, Selon que la hauteur $h'2= h_p$ est mesurée visuellement ou à l'aide d'un piston. On détermine **ESV** (équivalent de sable visuel) ou **ESP** (équivalent de sable au piston).

➤ L'équivalent de sable visuel (ESV) est défini par :

$$\text{ESV \%} = \frac{h2}{h1} \times 100$$

➤ L'équivalent de sable au Piston (ESP) est défini par :

$$\text{ESP \%} = \frac{h'2}{h1} \times 100$$

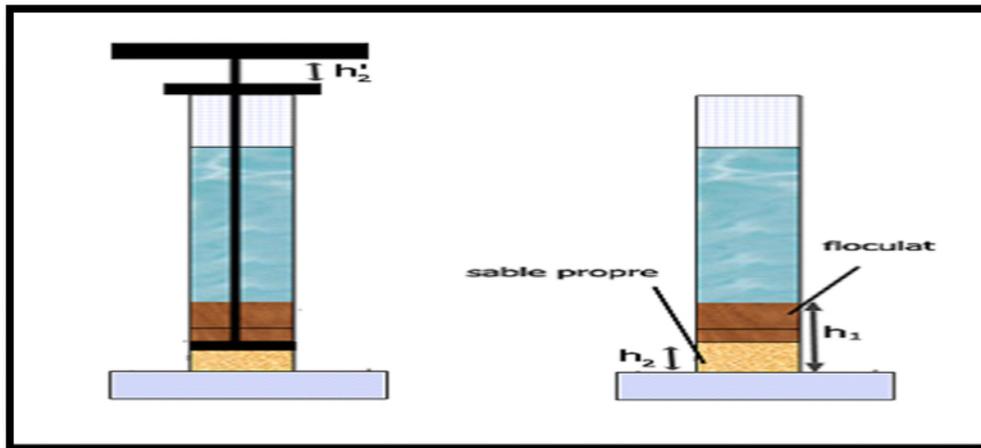


Figure I.13 : Détermination de l'équivalent de sable. [5]

Tableau I.9 : les valeurs préconisées pour l'équivalent de sable (ES). [5]

ESV	ESP	Nature et qualité du sable
ES < 65	ES < 60	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement, rejeté pour des bétons de qualité.
65 < ES < 75	60 < ES < 70	Sable légèrement argileux : de propriété admissible pour des bétons de qualité courant quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
75 < ES < 85	75 < ES < 80	Sable propre : à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES < 85	ES > 80	Sable très propre : l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton

➤ **Teneur en eau (W %)** :

La teneur en eau est égale au rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon. [3]

➤ **Coefficient d'absorption d'eau** :

L'absorption d'eau par définition est le quotient de la masse d'un échantillon immergé dans l'eau pendant 24 heures à 20°C et à la pression atmosphérique, par sa masse sèche. [3]

I.2.3.2.2.3/ Caractéristiques physiques et mécaniques :**➤ Les masses volumiques :**

Les masses volumiques des granulats sont définies et déterminées suivant les normes : NF P 18-554, 18-555, 18-558, EN 1097-3, EN 1097-6 :

1) Masse volumique apparente ou en vrac :

C'est la masse du granulat sec occupant l'unité de volume. Elle dépend du tassement des grains. Elle est comprise entre 1400 kg/m³ et 1600 kg/m³ pour les granulats roulés silico-calcaires. La masse volumique réelle du granulat (vides entre grains exclus) est nettement plus élevée de 2500 à 2600 kg/m³. [3]

2) Masse Volumique Absolue :

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores). Il existe 3 façons Généralement employées pour déterminer ces masses volumiques en fonction de la précision recherchée et de la nature du granulat :

- Méthode de l'éprouvette graduée.

- Méthode de la mesure au pycnomètre : La masse des particules solides est obtenue par pesage, le volume est mesuré au pycnomètre.

- Méthode de la pesée hydrostatique : Cette méthode est également utilisée pour déterminer des volumes apparents après paraffinage du matériau ou par graissage.

Les granulats sont dits : Légers : $Mv_{abs} < 2 \text{ t/m}^3$, Courants : $2 \text{ t/m}^3 < Mv_{abs} < 3 \text{ t/m}^3$,
Lourds si : $Mv_{abs} > 3 \text{ t/m}^3$

En général, la densité des granulats recyclés est inférieure à celle des granulats naturels, à cause de la faible densité de la pâte cimentaire rattaché aux granulats. [11]

➤ Porosité :

C'est le rapport du volume des vides pouvant être remplis d'eau au volume total d'un échantillon de granulats. La mesure de la porosité se fait selon les normes EN 1097-3. La

présence de pores internes dans les granulats est en rapport direct avec la densité des granulats. Certains pores sont complètement à l'intérieur des granulats et d'autres débouchent à la surface. [11]

I.2.4/ Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5% de la masse de ciment) aux bétons, mortier ou coulis lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications recherchées de certaines de leurs propriétés, à l'état frais (le temps de prise, le processus de durcissement et l'ouvrabilité) ou durci (la résistance et la durabilité) Chaque adjuvant est défini par une unique fonction principale, mais peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires. L'emploi d'adjuvants doit répondre à la norme **NF EN 934-2**

L'emploi d'adjuvants répond à des considérations techniques et économiques. On peut par exemple obtenir une meilleure ouvrabilité en remplaçant une partie de l'eau de gâchage par un plastifiant et réduire ainsi la capillarité, ce qui améliore la durabilité du béton.

L'efficacité des adjuvants dépend d'une quantité de facteurs qui sont entre : le dosage de l'adjuvant, le type et le dosage en ciment, le dosage en eau ainsi que la consistance, les conditions de malaxage et la température. [28]

I.2.4.1/ Les type des adjuvants :

La norme NF EN 934-2 classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale.

a) Adjuvants modifiant la rhéologie de la pâte de mortier :

➤ Plastifiants et fluidifiants :

Les plastifiants et les fluidifiants sont de loin les adjuvants les plus utilisés pour la confection du béton et mortier. Leur efficacité est illustrée par pour un rapport E/C constant, l'utilisation de ces adjuvants améliore l'ouvrabilité du béton. Ils permettent de réduire le dosage en eau, donc le rapport e/c, si l'ouvrabilité est maintenue constante, ce qui entraîne un accroissement de la résistance et de la compacité. On peut aussi, mais avec une moindre efficacité, conjuguer les deux effets, soit obtenir une amélioration de l'ouvrabilité tout en diminuant le rapport E/C. En conséquence, les plastifiants et fluidifiants permettent.

D'optimiser la recette du béton et mortier en termes d'ouvrabilité et de propriétés du béton et mortier durci. Comme effet secondaire possible de ces adjuvants, on observe parfois un effet retardateur de prise. D'une manière générale, l'efficacité des adjuvants est étroitement dépendante des caractéristiques du ciment et de la composition du béton ou mortier. C'est pourquoi il est recommandé de vérifier la compatibilité et l'efficacité de chaque combinaison adjuvant – ciment au moyen d'essais préliminaire.

1-augmentation de la fluidité (teneur en eau égale)

2-diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité

3-diminution de la teneur en eau (à fluidité égale).

L'action principale des superplastifiants est de dé floclé les grains de ciment. Une action de répulsions électrostatique agit en neutralisant les charges électriques présenter à la surface des grains et /ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaines moléculaires très longue. L'eau piégée par les flocs est de nouveau disponible pour la maniabilité du béton et mortier **Figure (I.14)** .il est alors possible de mettre en œuvre des bétons et des mortiers très fluides, avec des rapports E/C faibles. [29]

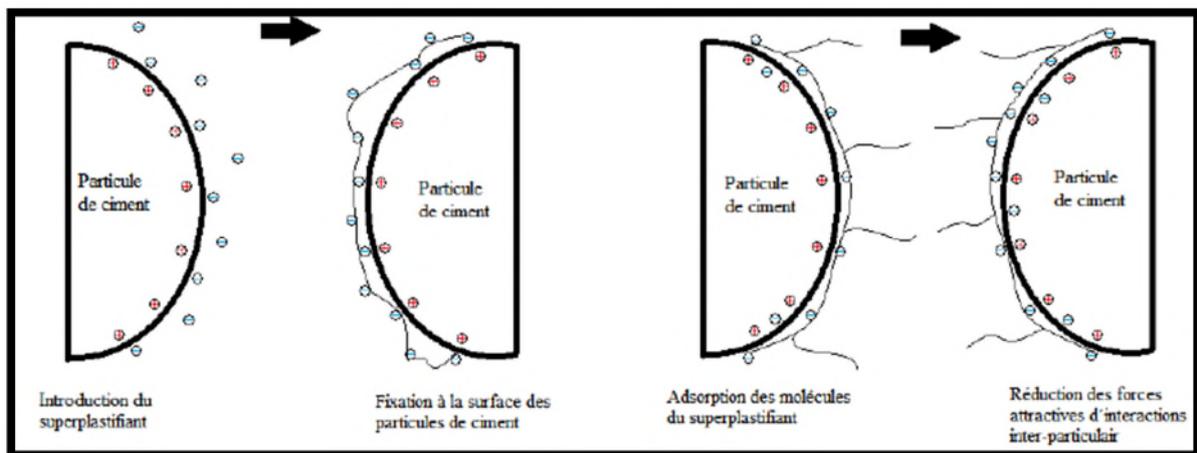


Figure I.14 : Mécanisme d'action des superplastifiants-défloclation des grains de ciment. [30]

b) Adjuvants modifiant la prise et le durcissement :

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

Tableau I.10 : Adjuvants modifiant la prise et le durcissement du ciment. [3]

<i>Adjuvants normalisés modifiant la prise et le durcissement du ciment (extrait du guide SYNAD)</i>				
		<i>Accélérateurs de prise</i>	<i>Accélérateurs de durcissement</i>	<i>Retardateurs de prise</i>
<i>Dosage/masse de ciment</i>		1 à 3 %	0,2 à 3 %	0,1 à 1 %
<i>Introduction</i>		Dans l'eau de gâchage		
<i>Effets sur la prise</i>		Accélération variable suivant les dosages les types de ciments et les températures.		Retards très variable suivant dosages, ciments, températures.
<i>Effets sur les résistances</i>	<i>initiales (avant 3 jours)</i>	Augmentées à 1 ou 2 jours.	Augmentées.	Diminuées à 1 ou 2 jours.
	<i>finales (avant 28 jours)</i>	Légèrement diminuées (d'autant plus que la prise aura été accélérée).	Inchangées ou légèrement diminuées	Légèrement augmentées.
<i>Effets secondaires favorables</i>		-	-	Amélioration de maniabilité avec possibilité de réduction d'eau
<i>Autres effets</i>		Possibilité d'une légère augmentation de retrait		-

c) Adjuvants modifiant les propriétés physiques :

➤ **Hydrofuge de masse :**

Les hydrofuges de masse ont pour fonction principale de diminuer l'absorption capillaire des bétons, mortiers ou coulis durcis. Cette diminution de l'absorption capillaire procure une bonne étanchéité au béton qui peut néanmoins se modifier au bout de quelques années. Les hydrofuges sont généralement à base d'acides gras ou de leurs dérivés (stéarates). Ils peuvent également comporter des matières fines ainsi que des agents fluidifiants. [3]

➤ **Entraîneurs d'air :**

Le rôle des entraîneurs d'air est d'incorporer des millions de petites bulles d'air d'un diamètre compris entre 10 et 300µm dans le béton afin d'augmenter la résistance aux cycles de gel - dégel. Il en résulte également une amélioration de l'ouvrabilité et une diminution du ressuage. Du fait de leur nature chimique particulière, les entraîneurs d'air ont la capacité d'introduire des bulles d'air de la dimension voulue dans le béton et de les stabiliser. [29]

➤ **Les rétenteurs d'eau :**

Ces produits ont pour fonction de réguler l'évaporation de l'eau et d'augmenter ainsi, l'homogénéité et la stabilité du mélange. Le ressuage par l'action de ces stabilisants est réduit de 50 %. La rhéologie du béton frais est améliorée même dans le cas d'une diminution du volume des fines. La diminution des résistances à 28 jours par rapport à un béton témoin est de l'ordre de 20 %. [3]

I.2.4.2/ Choix du type d'adjuvant :

L'utilisation d'un adjuvant dans les bétons, les mortiers ou les coulis peut causer une modification positive ou négative de certaines caractéristiques de ces derniers. Cependant, chaque adjuvant possède des caractéristiques qui lui sont propre, grâce auxquelles il contribue d'une manière ou d'une autre à la modification des propriétés des bétons à l'état frais ou durci. L'influence et l'efficacité d'un adjuvant est à la fois en fonction de son dosage et des constituants du béton. Quant au choix du type d'adjuvant (**Tableau I.11**), il dépend de la propriété recherchée pour le béton.

Tableau I.11 : choix de type d'adjuvant en fonction de sa propriété [3]

Choix du type d'adjuvant en fonction de sa propriété								
PROPRIÉTÉ	ADJUVANTS							
	Réducteurs d'eau	Plastifiants	Superplastifiants	Accélérateurs de durcissement	Accélérateurs de prise	Retardateurs de prise	Entraîneurs d'air	Hydrofuges de masse
Ouvrabilité		+	+				+	
Temps de prise					-	+		
Résistances	court terme (3 jours)	+	+	+	+	-	-	
	long terme (> 28 jours)	+	+		=	+	-	
Air occlus							+	
Résistance au gel du béton durci	+						+	
Compacité	+	+	+					
État de surface		+					+	
Perméabilité sous pression hydraulique			-					-

I.3/ Les Différents types de mortier :

I.3.1/ Selon la nature du liant [31] :

➤ Le mortier de ciment :

Le plus résistant, imperméable, avec prise rapide :

$$\text{Dosage} = \text{ciment} + \text{sable} + \text{eau}$$

➤ Le mortier de chaux :

Facile d'emploi, perméable, moins résistant que le mortier de ciment, aspect plastique et gras, s'utilise essentiellement comme enduit de finition ;

$$\text{Dosage} = \text{chaux} + \text{sable} + \text{eau}$$

➤ **Le mortier bâtard :**

Équilibre les qualités et les défauts des autres mortiers (un excès de ciment augmente la résistance ; d'avantage de chaux facilite sa mise en œuvre).

Dosage = ciment + chaux + sable + eau.

- ✓ Les plus grandes plasticités : **plus de chaux**
- ✓ Les plus grandes résistances : **plus de ciment**

I.3.2/ Selon l'utilisation [3] :

➤ **Le mortier de hourdage de maçonnerie :**

On utilise des sables dont les grains les plus gros n'excédant pas 5 mm Dosage le plus usuel est de 1 volume de liant (chaux hydraulique, ciment ou mélange des deux) pour 3 volumes de sable.

➤ **Les mortiers pour enduit :**

Rôle de l'enduit : Les enduits aux mortiers de liants hydrauliques sont utilisés aussi bien pour les travaux neufs que pour la réfection de façades. Les dosages courent sont de l'ordre de 500 à 600kg de ciment pour le sable. Les enduits remplissent plusieurs rôles :

- Un rôle de protection du gros œuvre contre les intempéries.
- Un rôle d'imperméabilisation tout en laissant "respirer" le support.
- Un rôle esthétique (aspect, couleur). Les enduits habillent les sors œuvres en le protégeant.

Ils constituent la finition extérieure visible de la construction.

Exécution des enduits : Ces enduits doivent être réalisés confinement au DTU26-1 (enduits aux mortiers de ciments de chaux et de mélange plâtre et chaux aérienne). En trois couches appliquées mécaniquement (pot de projection, machine à projeter) En deux couches projetées mécaniquement (pot de projection, machine à projeter) les première et deuxième couche du premier cas n'en faisant plus qu'une du fait du mode de mis en œuvre.

I.4/ Les propriétés des mortiers :

I.4.1/ Maniabilité :

L'ouvrabilité d'un mortier se mesure à l'aide de divers appareils. On peut citer :

a) La table de secousses :

Le mortier, après avoir été mis en place et de moule d'un moule tronconique, la consistance de la pâte caractérise sa plus ou moins grande fluidité. La mesure de la maniabilité qui est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration, Mettre sur la table vibrante et on frappe 30 coups pendant 30 s, alors le tronc de cône modélisé va s'étaler. On mesure avec la règle métallique le diamètre inférieure pour le tronc dans les directions perpendiculaires, L'étalement est donne par la formule :

$$E\% = (D1+D2)/2 \quad \text{Avec : } D1 \text{ et } D2 = \text{Diamètre final dans deux axes}$$

b) Le maniabilémetre du LCPC :

Il est constitué d'un moule parallélépipédique comportant une paroi mobile et un vibreur. Le principe de l'essai consiste, après avoir enlevé la paroi mobile, à mesurer le temps mis par le mortier sous vibration pour atteindre un repère grave sur la face intérieure du moule. [32]

I.4.2/ La prise :

Le temps de pris se mesure habituellement sur une pâte pure de ciment de consistance normal (24 à 26% d'eau) et conformément à la norme NF P 15-431 (à l'aide de l'appareil de **Vicat**).il est possible d'obtenir (hors norme) le temps de prise d'un mortier avec le même appareillage mais en plaçant une surcharge de 700 grammes sur le plateau supérieure. Le poids de l'aiguille pénétrant dans le mortier est alors de 1000 grammes. Le début de pris est l'instant où l'aiguille s'arrête à 2.5mm du fond (taille des plus gros grains de sable) et la fin de pris, l'instant où l'aiguille s'arrête à 2.5 mm du niveau supérieure. Les temps de prise sur mortier normalise sont un peu longs que sur la pâte pure de consistance normale (le rapport **E/C** n'est pas e même.). [32]

I.4.3/ Résistance mécaniques :

Les essais sont souvent effectués sur prismes de 4*4*16 cm conservés dans l'eau à 20°C.Les éprouvettes sont rompus en traction par flexion Puis en compression. Les résistances, aussi bien en traction par flexion qu'en compression, progressent à peu près comme le logarithme du temps (entre let 28 jours). Les rapports (résistances en compression / résistances en traction par flexion) augment dans le temps. Pour le ciment courant, on obtient [32] :

(Entre 4 et 4,5 à 1 Jour) (Entre 4,5 et 5,5 à 2 Jour)

(Entre 5,5 et 6 à 7 Jour) (Entre 6 et 7 à 28 Jour)

Les résistances des mortiers dépendent de très nombreux facteurs :

- la nature et dosage en ciment.
- le rapport C/E.
- la granulométrie et la nature du sable.
- l'énergie de malaxage et mise en œuvre.
- la protection les tous premiers jours.

I.4.4/ Retrais et gonflement :

Les retraites se mesurent sur des primes (4*4*16) cm en mortier 1/3, munis de plots à leurs extrémités et conservés, après démoulage, dans une enceinte à 20°C et à 50% d'humidité Relative. Ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours.

Le mortier prend son retrait plus rapidement que la pâte pure. Le rapport du retrait de pâte pure sur le retrait du mortier croît avec le temps. Il est de l'ordre de 1.5 à 2.5 mm les premiers jours, puis augmente pour atteindre 2.5 à 3.5 en un an. En moyenne, le retrait sur mortier est 2 à 3 fois plus faible que celui de la pâte pure (avec le même ciment). Le gonflement des mortiers (qui se produisent lorsqu'ils sont conservés dans l'eau) se mesure sur les mêmes éprouvettes de (4*4*16) cm conservés dans l'eau à 20° C, ils sont en général assez faibles (cas de ciment stable ayant une expansion aux aiguilles de la chaux inférieure sur pâte pure à 10 mm). On peut distinguer cinq types de retrait [32] :

- Retrait plastique : dû à la dessiccation de la pâte de ciment en début de prise.
- Retrait par auto-dessiccation (endogène) : au cours de l'hydratation.
- Retrait thermique : causé par les différences de température au cours de l'hydratation.
- Retrait à long terme : causé (séchage) par l'évaporation de l'eau contenue dans le béton.
- Retrait de carbonatation : résultant de la réaction chimique qui se produit entre la chaux libérée par l'hydratation et le gaz carbonique de l'atmosphère, cette réaction libère l'eau pour former un carbonate de Calcium. [26]

I.4.4.1/ Limitation du phénomène de retrait :

La cause principale du retrait c'est le départ d'eau, de ce fait il existe différentes solutions afin de remédier plus au moins à cela [30] :

- L'utilisation des coffrages étanches non absorbants (retrait à très jeune âge).
- La protection contre l'évaporation précoce de l'eau.
- L'utilisation d'adjuvants ou de produits de cure.
- Éviter un surdosage en ciment.
- Créer des bétons plus compacts (le retrait diminue quand les bétons sont plus compacts)

I.4.5/ Durabilité :

L'utilisation de sable concassé comme substitut au sable naturel se répand de plus en plus. Contrairement au sable concassé, le sable naturel contient : des chlorures, des sulfates et autres sels organiques nocifs, Tous ces paramètres influencent la résistance et la durabilité du béton et des aciers.

D'autre part, les recherches récentes ne cessent de valoriser l'utilisation des sables de carrière, étant donné qu'ils présentent de bonnes performances du point de vue durabilité. Les facteurs influençant la durabilité du béton peuvent être internes ou externes au béton.

- **Internes** : comme la fissuration, perméabilité et diffusivité, porosité, perméabilité aux les ions chlore (présent dans certains accélérateurs et eau de gâchage), réactions alcalis granulats et les ions sulfates

- **Externes** : comme l'instar des ambiances hivernales (la répétition des cycles de gel dégel, l'action des sels de déverglace et formation de sels gonflants), et des ambiances chimiquement agressives notamment le dioxyde de carbone, les eaux de pluies de neiges, les eaux souterraines, l'eau de mer, les acides, les bases ainsi que toutes les solutions résultant de la dissolution de sel ou de gaz [33]

I.4.6/ Porosité :

Des études récentes ont traité la variation de la porosité en fonction du taux de fines des sables concassés. Les résultats des chercheurs étaient en contradiction. En effet selon :

Gonçalves et al. [34] la porosité été inférieure pour les bétons contenant plus de fines. Tandis que **Menadi et al. [35]** prétendent que la porosité été inférieure pour les bétons contenant moins de fines. De ce fait la porosité des bétons à base de sables de carrière reste dépendante de la forme et de la source des particules.

I.4.7/ Influence de sable de carrière sur le mortier :

D'après coquillât et Lesage, en France les tenseurs en fines déterminées expérimentalement comme optimales sont très voisines de celles résultant de la production industrielle des sables, résultat économiquement très intéressant. Pour 9 ou 10 sables sur 12, Les résistances mécaniques des mortiers sont égales ou supérieures à celles du mortier normal. La résistance du mortier à fort dosage en ciment est supérieure de 20 à 25% à celle du mortier normal. La résistance à la flexion et d'adhérence en ont la même allure. Pour les mortiers ayant le même rapport E/C, l'incorporation des particules fines provoque des réductions significatives du slump. En revanche, la résistance à la compression du mortier au sable nature n'était pas affectée d'une façon significative par l'incorporation des particules fines, le mortier au sable concassé à indiquer une augmentation dans la résistance. [36]

I.5/ Conclusion :

Cette partie de l'étude bibliographique nous a montré que :

Les mortiers : Composés de liant, sable, eau et adjuvant, se différencient par leur composition, leur consistance d'où la différence du domaine d'utilisation.

Le ciment : Est un liant hydraulique : la réaction chimique entre la poudre de ciment et l'eau produit un minéral artificiel insoluble. Plus les grains de ciment sont fins, plus cette réaction (Hydratation) s'opère rapidement. Le durcissement a lieu aussi bien à l'air que sous eau.

Les sables : Se classe en trois types de sable les sables alluvionnaires, les sables concassés les sable de dune, mais le premier est le plus utilisé ce qui a causé son épuisement.

Les adjuvants : sont des composants très importants dans les mortiers modernes qui permettent de modifier certaines de leurs propriétés à l'état frais ou durci.

Finalement ce chapitre nous a fourni des informations qui vont nous être utiles pour comprendre l'effet de la nature de sable sur le comportement du mortier.



CHAPITRE II

Influence des paramètres technologique sur le comportement du mortier



II.1/ Introduction :

Les caractéristiques des différents constituants du mortier ont des influences plus ou moins importants sur les propriétés des mortiers. C'est pour cela qu'il faut les connaître pour les prendre en considération dans le calcul de la composition des mortiers.

II.2/ Influence du ciment :

L'importance des propriétés normalisées des ciments courants tient à leurs relations, plus ou moins directes, avec les propriétés du mortier. Ces dernières dépendent évidemment aussi de nombreux autres paramètres, ce qui oblige à fixer les autres constituants et leurs proportions. Le ciment est l'élément qui a la plus grande influence sur la qualité du mortier, alors on peut étudier : l'influence des différents types de ciment sur la qualité des mortiers.

II.2.1/ L'influence des différents types de ciment sur la qualité des mortiers :

L'étude réalisée par Anissa bissa et Badr Eddine (2004) révéla que : les mortiers avec le ciment **CEM III/C** (Ciment de haut-fourneau) présentent des porosités ouvertes supérieures à celles des mortiers avec le ciment **CEM I** (Ciment Portland). Ce résulte du fait que pour une quantité de ciment donnée, le volume d'hydrate produit par le ciment CEM III /C est plus faible que celui produit avec le ciment CEM I en raison de la faible vitesse d'hydratation du laitier par rapport au clinker. [37]

Une autre étude révéla que : le **CEM III/C** (Ciment de haut-fourneau) et **CEM I** (Ciment Portland).Présentent des différences d'évolution générale du développement de leur résistance mécanique A 20°C, entre un mortier à base le ciment CEM III/C (Ciment de haut-fourneau) et CEM I (Ciment Portland).représentée en **Figure II.1**, le retard de développement des résistances mécanique des ciments au laitier peut être observé à court terme, jusqu'à 28 jours d'hydratation.

A très long terme le développement des résistances mécaniques des ciments au laitier pourra atteindre **180%** des résistances mécaniques à 28 jours, alors que celui des ciments Portland (CEM I) se limitera à **120%** des résistances mécaniques à 28 jours. Un des intérêts de l'utilisation des ciments de haut-fourneau réside en une (réserve) de résistance mécanique par rapport au ciment Portland (CEM I). [38]

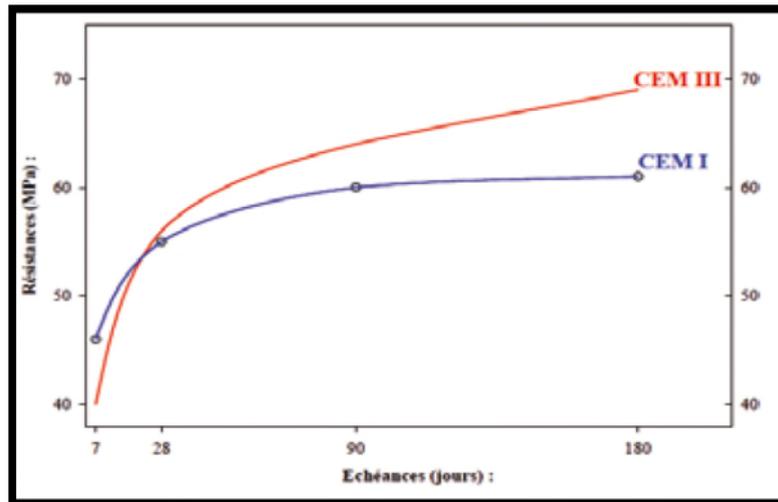


Figure II.1 : Evolution de la résistance à la compression des ciments CEM I et CEM III/C en fonction de temps. [38]

II.2.2/ L'influence de rapport E/C et différent dosage de ciment :

Les résultats des essais de la résistance à la compression par différents dosages de ciments et par différents rapports E/C sont illustrés dans le tableau II.1, Pour les différents types de mortiers [39] :

Mtm = Mortier sable de alluvionnaire comme témoin(STM), pourcentage des fines 6%

MS = Mortier sable de carrière sans modification, pourcentage des fines 12%

MT = Mortier sable de carrière tamisé au tamis 0.16µm, pourcentage des fines 4%

ML = Mortier sable de carrière lavé, pourcentage des fines 0.1%

Tableau II .1 : Résistance à la compression des différents types de mortier à 28j. [39]

Dosage en ciment (Kg/m ³)	Rapport E/C	Résistance à la compression des différents types de mortier à 28j (MPa)			
		Mtm	MS	MT	ML
300	0,65	23,6	29,1	24,8	20,9
	0,70	-	27,7	22,4	17,6
	0,75	-	24,0	16,7	13,3
350	0,65	26,2	33,6	28,0	24,5
	0,70	-	30,2	24,7	21,4
	0,75	-	26,0	19,8	15,5
400	0,65	28,3	36,0	31,5	27,0
	0,70	-	32,5	28,1	24,7
	0,75	-	29,8	23,6	19,5

On peut observer que, pour tous les types de mortiers, la résistance à la compression croît en augmentant le dosage en ciment à un rapport **E/C** constant, et elle croît aussi en augmentant le rapport **E/C** à un dosage donné. La résistance à la compression diminue.

Elle peut être classée par ordre croissant comme suivant : **MS, MT, ML** pour les mortiers à base de sable de carrières.

Cela est dû probablement à l'effet granulaire de fines calcaires contenues dans le sable de carrières à des différents pourcentages,

Ces fines font densifier le squelette granulaire en remplissant les vides ce qui fait diminuer la **porosité**, et par conséquent une augmentation de la résistance à la compression. [39]

II.3/ Influence des ajouts minéraux sur les résistances mécaniques des mortiers :

L'étude réalisée par BELHOCINE A-NAGOUDI N (2014) révèle que : L'évolution des résistances mécaniques à la compression des mortiers élaborés à des différents pourcentages d'ajouts minéraux l'incorporation des ajouts minéraux inertes (calcaires, sable de dune) et actifs (Pouzzolane – Laitier de haut fourneau, fumé de silice) au ciment **CPJ** type (ELMATINE), contribue d'une façon positive sur les performances mécaniques, la masse volumique et la durabilité des mortiers binaires confectionnés selon les différentes combinaisons avec ces ajouts. Ils permettent une amélioration de la résistance mécanique des mortiers qui égale ou très proche de celle du mortier témoin à court et à long terme. De plus ces ajouts réduisent l'absorption capillaire en diminuant la porosité de la pâte de ciment durcie et augmentent la résistivité de ces mortiers.

Les éprouvettes sont conservées 60 jours dans l'eau de la nappe (cité NASRE-Ouargla) avant l'essai.

On remarque une perte de résistance à la compression pour toutes les compositions conservées dans l'eau de la nappe par rapport à celles qui sont conservées dans l'eau normale (de robinet) ce qui explique l'effet nuisible de la nappe sur les hydrates cimentaire du squelette des différents mortiers cette perte est évaluée par : (26%,21%,87%, 31,41%,23%, 13,88%) successivement. [5]

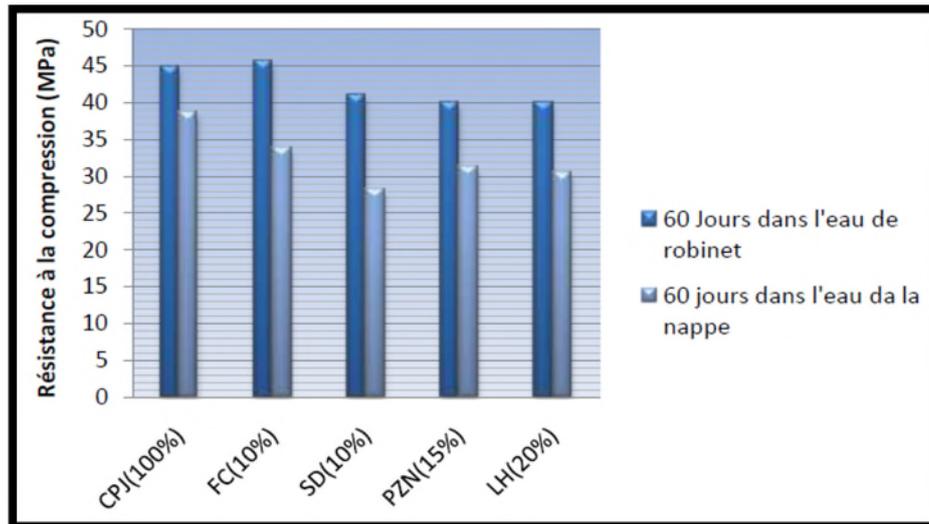


Figure II.2 : L'évolution des résistances mécaniques compression des mortiers élaborés à des différents pourcentages d'ajouts minéraux. [5]

II.4/ Eau de gâchage :

C'est un constituant nécessaire à la fabrication du béton. L'eau agit sur la réaction entre les constituants anhydres des ciments (formation de silicates de calcium hydratés C-S-H, portlandite, aluminates et sulfo-aluminates de calcium hydratés) et leur confère certaines de leurs caractéristiques à l'état frais (maniabilité, ouvrabilité) et à l'état durci (résistance mécanique, porosité, perméabilité et durabilité). [11]

II.4.1/ Influence du dosage en eau :

L'eau de gâchage est l'un des paramètres principaux agissant sur les caractéristiques des mortiers ou béton à l'état frais et à l'état durci. Un excès, ou un sous dosage en eau peut compromettre la durée de vie d'un ouvrage. L'ajout d'eau non maîtrisé, qui peut se produire au cours de bétonnage, engendre différents phénomènes [40] :

a) Résistance mécanique :

Le surdosage en eau engendre l'accroissement de la porosité du béton durci ce qui conduit à une baisse de la résistance mécanique.

b) Influence la durabilité :

La porosité conduit à une augmentation des cinétiques de pénétration d'agent agressif (risques de corrosion par carbonatation), des chlorures (risques de corrosion par action des chlorures),

des sulfates et des alcalins (risques de réactions endogènes nécessitant un apport externe d'humidité).

c) Ressuage :

Le ressuage peut entraîner la formation de fissures, étant donné qu'il est lié à un tassement progressif du squelette sous la pesanteur et à une remontée d'eau.

d) Ségrégation :

La présence d'un excès d'eau réduit les forces de cohésion du béton, qui devient alors plus sensible à toutes les sollicitations extérieures.

e) Retrait :

L'évaporation de l'eau excédentaire interne peut provoquer une réduction dimensionnelle (retrait). De ce fait, le dosage en eau du béton est un paramètre important et délicat.

II.4.2/ Influence de la qualité de l'eau :

N'importe quelle eau ne peut être utilisée dans la composition des mortiers. En effet, la qualité de l'eau doit répondre à certaines exigences citées dans la norme européenne [NF EN 1008] l'eau potable distribuée est réputée conforme aux prescriptions. Toute fois des chercheurs se sont penchés sur l'utilisation de différent type d'eau dans la formulation des bétons. **Houti et al. [41]** ont présenté une étude expérimentale sur l'effet de l'eau de mer et de l'eau du robinet sur les mortiers faits avec deux types de ciments d'Algérie (Béni-Saf et Lafarge). Les résultats ont montré (**Figure II.3**) qu'à jeune âge les résistances été meilleures dans les mortiers combinés avec de l'eau de mer et de l'eau potable. Cependant, à long terme les meilleures performances ont été obtenues avec de l'eau potable.

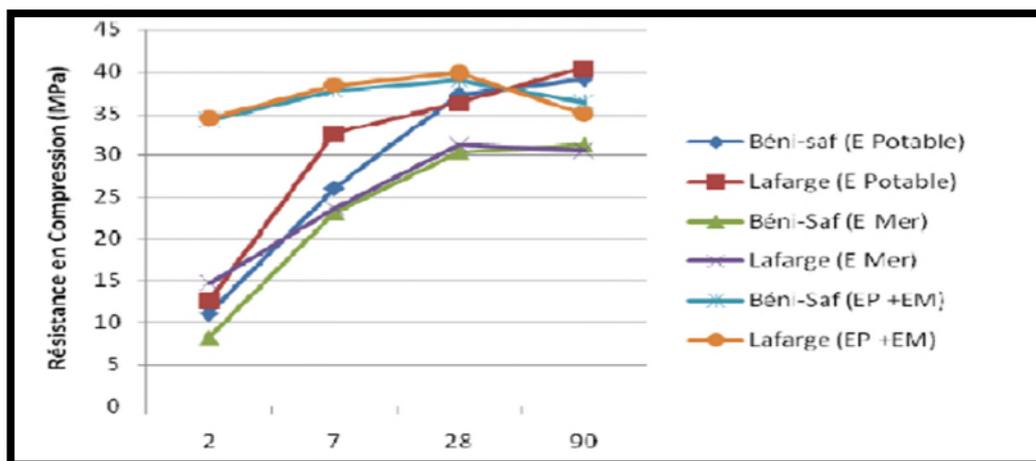


Figure II.3 : Variation de la résistance à la compression. [41]

II.5/ Influence des adjuvants :

Les adjuvants sont définis dans la norme **NF EN 934-2**, comme étant des produits incorporés lors du malaxage ou avant la mise en œuvre du béton, mortiers ou coulis à une dose inférieure ou égale à 5 % en masse de la teneur en ciment. Chaque adjuvant est défini par une fonction principale, mais peut présenter une ou plusieurs fonctions secondaires. À titre d'exemple : les Plastifiants réducteurs d'eau sont des produits qui viennent se fixer par adsorption sur les grains du ciment et provoquent une défloculation des grains de ciment. [11]

Ce phénomène est principalement lié à la présence de charges électriques sur la surface des grains, qui va piéger un certain volume d'eau à l'intérieur des floccs afin d'empêcher l'eau d'hydrater certaines parties des surfaces des grains de ciment qui se trouvent en quelque sorte soudés les unes aux autres. [42]

De plus, ce mécanisme permet soit de réduire le dosage en eau à maniabilité constante, ce qui induit donc à un gain de résistance, soit d'augmenter l'affaissement à teneur en eau constante. La norme [NF EN 934-2] classe les adjuvants pour bétons, mortiers et coulis, suivant leur fonction principale. On peut distinguer trois grandes catégories d'adjuvants :

- ❖ **Adjuvants qui modifient l'ouvrabilité du béton** : Plastifiant- réducteur d'eau, Super-plastifiant haut réducteur d'eau.
- ❖ **Adjuvants qui modifient la prise et le durcissement** : Accélérateurs de prise, accélérateurs de durcissement, retardateurs de prise.
- ❖ **Adjuvants qui modifient certaines propriétés particulières** : Entraîneurs d'air, générateurs de gaz, hydrofuges de masse.

II.5.1/ Influence du dosage des adjuvants :

La détermination du dosage optimal en adjuvant est une opération complexe. Des recherches ont été menées dans ce contexte. Elles ont abouti au fait qu'au-delà d'un certain point, l'ajout d'adjuvant sera superflu, car la fluidité du coulis ne peut plus être améliorée, et un dosage excessif risque de retarder le durcissement du béton et de créer un phénomène de ségrégation. Les chercheurs ont montré, suite à leurs études sur l'influence des plastifiants et super-plastifiant que la fluidité des matériaux cimentaires était affectée par le type et la catégorie de plastifiants, qui vont influer sur le retardement de l'hydratation du ciment. [42]

Esteves et al. [43] ont abouti au fait que l'utilisation de superplastifiants prolonge la période dormante jusqu'à 4-6 h après l'addition d'eau. D'autres parts, les performances des mortiers et des bétons sont différentes selon la composition minéralogique et chimique du ciment.

Enfin, l'aspect économique est un point primordial, à prendre en compte durant l'utilisation d'adjuvant, pour une optimisation dans le secteur de la grande consommation.

II.5.2/ Effets Rhéologiques des superplastifiants :

En l'absence de superplastifiants, les particules de ciment s'agglomèrent en raison des charges opposées présentes à leur surface. Ce phénomène va se traduire par un seuil d'écoulement au niveau des propriétés rhéologiques. En présence de superplastifiants, les polymères organiques vont limiter l'agglomération des grains, ce qui aura pour conséquence une diminution voire une suppression du seuil d'écoulement. De plus, lors de la dispersion des particules, la structure floculée va se dissoudre et l'eau retenue à l'intérieur va être libérée, de telle façon qu'elle pourra à nouveau contribuer à l'écoulement. La Figure II.4 reprend les effets des superplastifiants sur les propriétés rhéologiques d'une pâte de ciment. [44]

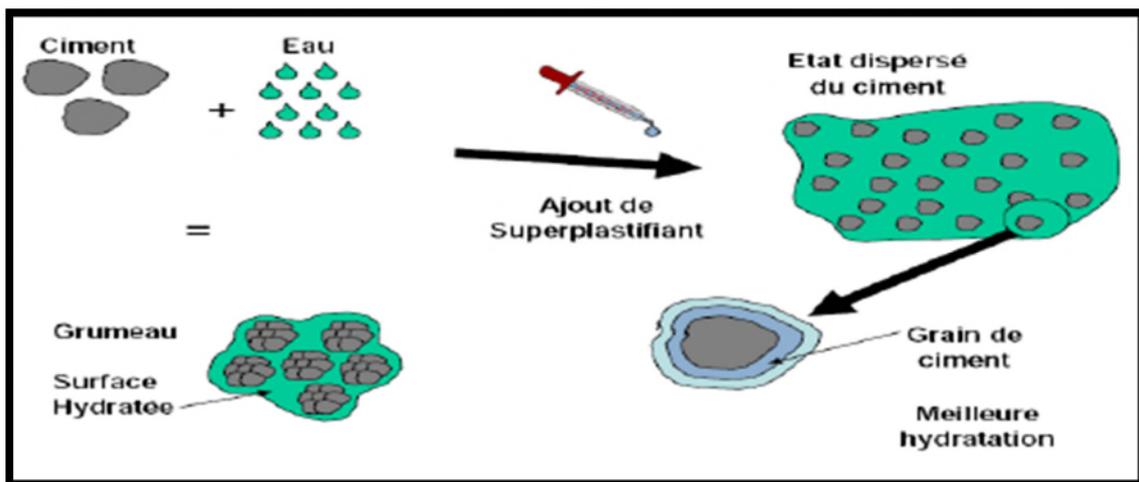


Figure II.4 : Effet des superplastifiants sur les propriétés rhéologiques de ciment [44]

II.6/ Influence de sable :

II.6.1/ L'effet du type de sable sur les propriétés du mortier :

II.6.1.1/ Le mortier à l'état frais :

L'étude réalisée par CHERGUI (2009) et al a révélé que l'ouvrabilité des mortiers est influencée par la nature du sable employé. Les chercheurs ont constaté que le temps

d'écoulement du mortier à base de sable de dune est le plus long comparativement aux autres types de sables. [45]

Tableau II.2 : valeurs de l'ouvrabilité des différents mortiers. [45]

Sables	Maniabilité
Normalisé	2mn44s
Sable de mer	2mn17s
Sable de concassage	2mn39s
Sable de dune	4mn

II.6.1.2/ Le mortier à l'état durci :

II.6.1.2.1/ La Comportement mécanique des mortiers :

L'étude révéle que : La bonne résistance à la traction est obtenue par le mortier composé du sable de concassage à cause de leur contenance de grande quantité des gros grains, elle atteint une valeur d'environ 9,5 MPa à 28 jours, et Sa vitesse d'augmentation de résistance est très rapide. Le mortier normal donne une bonne résistance, mais elle est inférieure celle du mortier du sable de concassage car le module de finesse du sable normalisé est inférieur celle du concassage une faible résistance par apport à celle du mortier normal donné par les mortiers composés par le sable de dune et de sable de mer, elle atteint 4 et 5 MPa respectivement à 28 jours, Les résultats ont montré que la bonne résistance à la compression celui qui par le mortier normal, sa valeur maximale est de 67 MPa à 28 jours, une résistance acceptable pour le mortier composé par les sables de concassage et de mer, elle atteint 40 et 30 MPa respectivement.

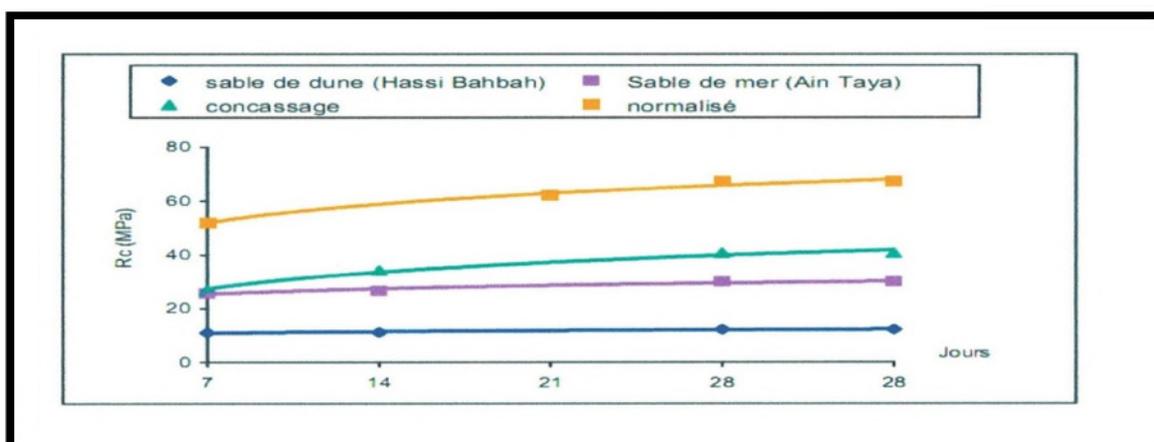


Figure II.5 : Courbe de la résistance à la compression en fonction du temps avec des types des sables différents. [45]

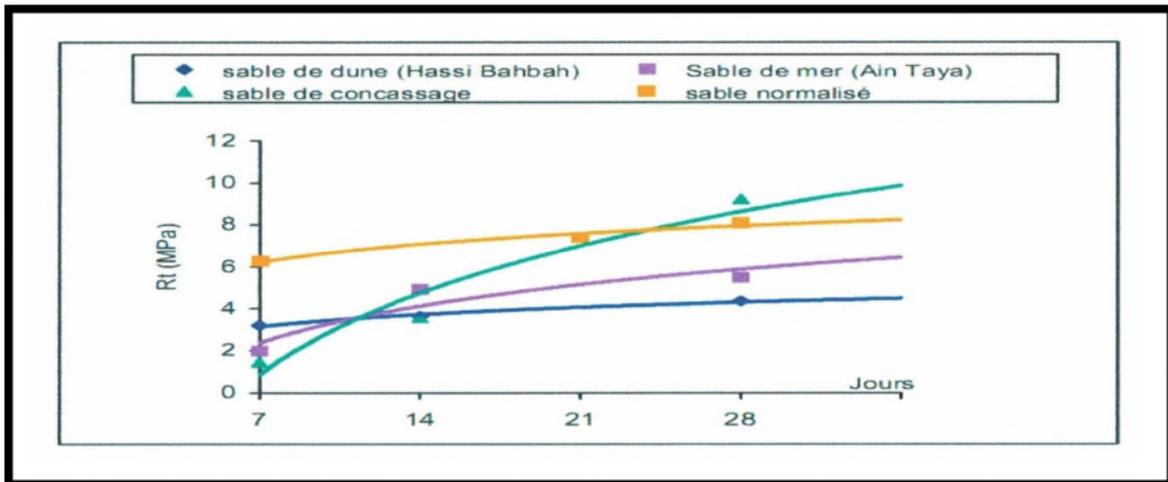


Figure II.6 : Courbe de la résistance à la traction en fonction du temps avec des types de sables différents. [45]

II.6.2/ Influence du lavage du sable :

Afin de s'opposer aux différents problèmes rencontrés à cause de la teneur en fines des sables des chercheurs ont suggéré le lavage du sable afin de réduire ce pourcentage de fine.

Selon **Westerholm et al** Le procédé de lavage permet d'éliminer des particules inférieures à (40 μ m). D'autre part cela permet aussi, d'enlever les argiles d'autres substances qui pourraient être nocifs pour le béton et améliorer la viscosité. Cette amélioration était liée au fait que les sables non lavés contiennent une quantité d'argile qui peut affecter le comportement du béton ou les mortiers. [46]

II.6.3/ Effet de la source minéralogique du sable de concassage :

Al-Baghdadi et Al-Ameeri [47] ont étudié l'influence de la source minéralogique de trois différents types de sable concassée sur le comportement des bétons (même rapport E/C). En effet la texture et la forme des particules de sable concassé ont une grande influence sur l'association de la pâte et des granulats. Les résultats de leurs recherches ont montré que le sable concassé issu de granit apparaissait comme étant le plus avantageux (résistance à la compression, ouvrabilité). Ce comportement a été attribué à la morphologie des particules de sable de granit.

L'étude menée par **Cabrera et al.** [48] s'est orienté sur plusieurs paramètres rhéologiques, parmi ces paramètres c'est l'effet du type de sable sur la fluidité du mortier. La

recherche a montré que la maniabilité des mortiers se diffère selon l'origine minéralogique. À titre.

D'exemple les mortiers à base de sable de calcaire, se propagent plus facilement que ceux avec de la dolomie ou du granit. Cela a été associé aux caractéristiques physiques des particules : la forme et la texture des particules (angularité), finesse et la teneur en fines du sable concassé.

II.6.4/ Effet de la teneur en fines dans le sable :

L'un des paramètres les plus importants dans les sables issus de concassage, c'est le pourcentage des fines qu'ils contiennent.

Cabrera et al. [48] ont indiqué que la teneur en fines des sables quel que soit leur origine minéralogique, a un impact sur la teneur en eau et sur la rhéologie : plus grande est la teneur en fines, plus grande est la capacité de lubrification.

La norme européenne CEN EN 196-1, ainsi que la norme **AFNOR** [NF P 15-403] recommande l'usage de sable naturel 0/2 mm, de préférence à grains arrondis, très siliceux dont la teneur en poids de silice est au moins égale à 98 %. Dans l'esprit de la norme, la teneur élevée en silice permet d'éviter les fines [49]. Cependant, les sables avec une teneur élevée en silice sont peu disponibles. De ce fait, les normes se sont adaptées dans la nécessité d'utiliser les sables concassés en augmentant la limite des fines permise dans le sable concassé.

- La norme européenne EN- 206 par exemple autorise jusqu'à 16 % de fines.
- la norme britannique (BS 882) permet à 15 % des fines dans le sable.
- Tandis qu'ASTM C33 fixe la limite à moins de 7 %.
- Le ministère de l'habitat Algérien recommande de ne pas dépasser un taux de fines de 15 % pour des bétons de classe comprise entre 20 et 35 MPa et ne pas dépasser 12 % pour un béton de classe supérieure à 35 MPa. [30]

Joudi [50] ont testé l'influence du taux de fillers des sables de concassage tunisien sur les propriétés mécaniques des bétons. Les résultats de leurs recherches ont montré que, les bétons qui ne contiennent pas de fines %0 présentent les plus faibles valeurs de résistance à la compression, contrairement aux bétons qui contiennent un pourcentage de 12 % de fines. Au-delà de ce pourcentage qui est considéré comme optimum pour les bétons courants, les performances diminuent.

Westerholm et al. [46] expliquent que si quantité de fine n'est pas suffisante, il n'y aura pas suffisamment d'éléments fins pour remplir les vides entre les grosses particules de granulat

expliqués par le fait que les fillers calcaires du sable de concassage améliorent l'adhérence entre le ciment et les granulats.

Sadhouari et al. [1] ont étudié l'influence de la teneur en fines sur le pourcentage en air occlus. Ils ont montré que le pourcentage de l'air occlus diminue en fonction du pourcentage des fines. L'optimum est atteint entre 10 % et 15. Ainsi, la présence des fines en proportion modérée (entre 5 et 15 %) dans un sable est une nécessité afin d'empêcher le phénomène de ressuage et de maintenir une cohésion qui assure l'homogénéité.

HASNAOUI Imane en 2016, à étudié l'Influence des taux élevés des fines calcaires sur le comportement mécaniques et rhéologiques des mortiers à base du sable de carrière.

Dans ce travail avait pour objectif de l'étude la résistance à la compression et flexion et traction par flexion, l'absorption (7,14 et 28 jours) des mortiers avec sable de carrière .pour chaque dosage des fines calcaires (0% ,5% ,10%,15%,20% et 25%).en rapport d'eau E/C (0.5, 0.6) pour chaque dosage de ciment (350,400 kg) les résultats dans les figure [21] :

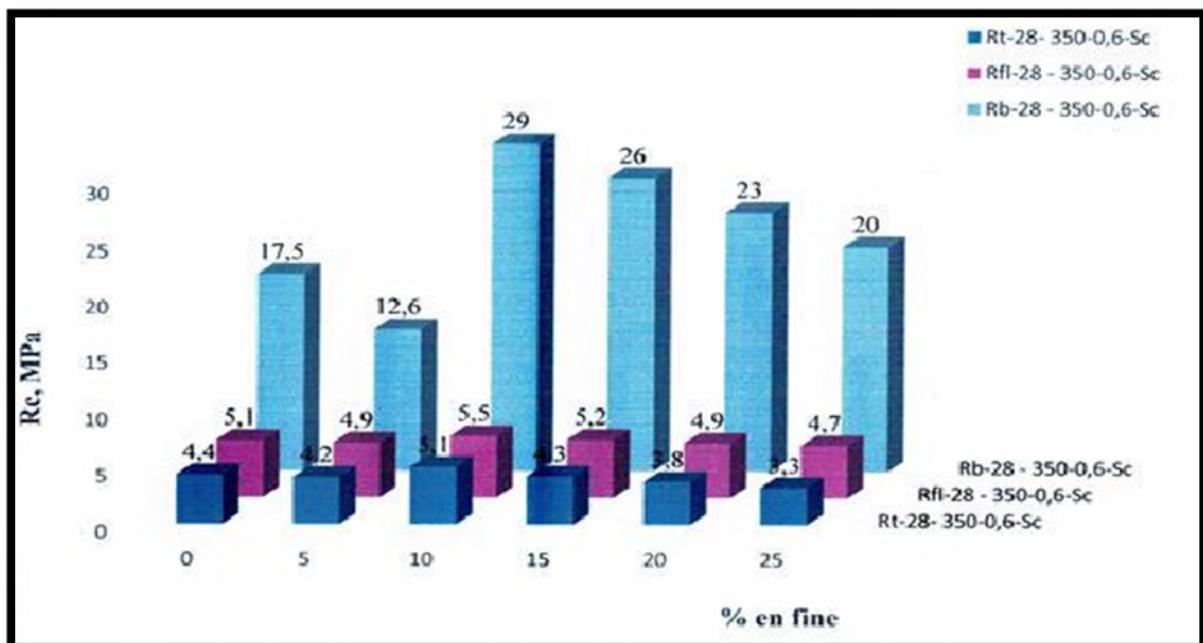


Figure II.7 : Evolution de les résistances mécaniques des mortiers en fonction du temps et du dosage en fine, à base du sable de carrière, (durcissement humide) pour un rapport E/C = 0,6 % et C = 350 kg (CPJ-42.5) [21]

Et les résultats pour l'absorption des mortiers à base du sable de carrière en fonction du pourcentage en fine (0% ,5% ,10%,15%,20%).

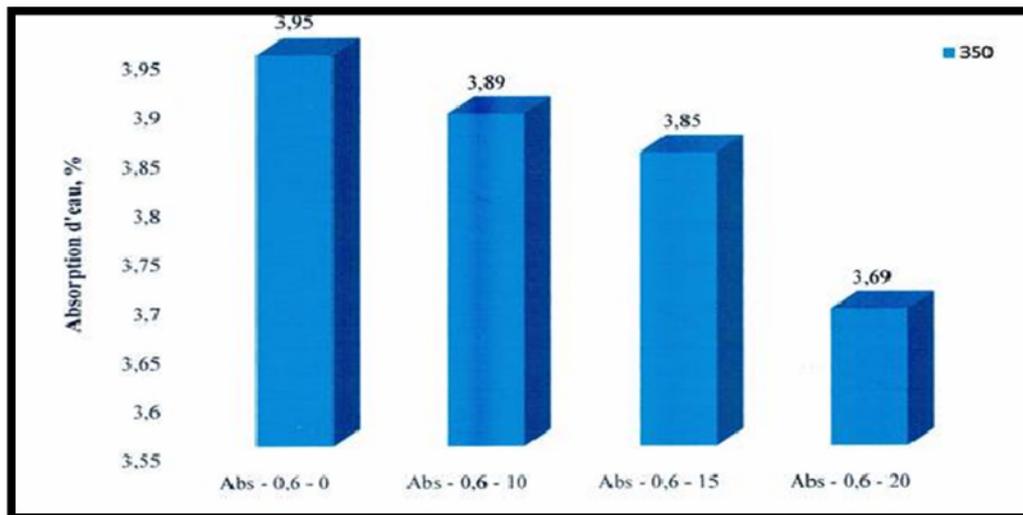


Figure II.8 : Evolution de l'absorption d'eau des mortiers à base du sable de carrière en fonction du % en fine, (durcissement humide) pour un rapport E/C = 0,6 % et C = 350 kg (CPJ-42.5) [21]

II.7/ Influence des facteurs climatiques :

N. BAKIR et al ont indiqué que les facteurs les plus importants des conditions climatiques, est la température ambiante qui atteint souvent 45 à 50°C à l'ombre en présence d'une hygrométrie relativement faible. De telles conditions provoquent l'évaporation rapide de l'humidité, tout d'abord des couches superficielles ce qui entraîne un retrait irrégulier et par conséquent, la création des contraintes thermiques sévères dans le mortier.

Ces effets peuvent nuire à la qualité du mortier et implicitement à celle du béton, surtout pendant le durcissement ou le phénomène d'hydratation est considérablement touché et le mortier étant relativement faible, ne peut en conséquence supporter les contraintes générées. Le deuxième facteur important qui peut aussi nuire à la qualité du mortier, est la basse humidité qui peut causer une évaporation très rapide de l'eau de gâchage entraînant en temps chauds, le durcissement rapide du mortier. Il a été reporté que lorsque l'humidité relative s'abaisse de 90 à 50 %, le taux d'évaporation d'eau augmente de 5 fois ce qui montre l'influence de l'humidité relative sur la perte d'eau. [51]

D'onc l'évaporation d'eau est due aux déséquilibres thermique et hydrique entre le mortier et la perte d'eau au sein du mortier provoque une dessiccation du mortier. Une dessiccation trop importante engendre des contraintes au sein du matériau. Au jeune âge, le mortier n'est pas très

Résistant. Ainsi, le mortier peut se rétracter sous l'effet des contraintes de dépression capillaire si ce retrait est gêné, par le frottement du support par exemple, alors le mortier se fissure. [52]

II.8/ Influence de types de cure :

N. BAKIR et al relevé qui : Les résultats expérimentaux obtenus montrent l'importance de la cure dans les régions chaudes. Ces résultats ont été comparés à ceux d'un mortier de référence conservé à l'air sans aucune cure puis ils ont été discutés d'après l'influence des conditions climatiques et celles des types de cure. Le climat de la région de **Msila** à savoir environnement chaud et humide .Les méthodes de cure utilisées lors dans ce travail sont :

1. Cure par plastique (polyéthylène) : Les éprouvettes sont recouvertes de plusieurs couches de plastique puis placées dans des conditions de conservation différentes.

2. Cure par toile de jute humide : les éprouvettes sont recouvertes de toiles de jute humide puis enveloppées dans deux couches de plastique pour éviter que la toile de jute se dessèche. La toile est maintenue pendant 3 jours au cours des quels elle est arrosée une fois par jour.

3. Cure à l'air : Les éprouvettes sont simplement laissées à l'air libre sans aucune protection contre l'évaporation de leur eau de gâchage et ce afin de pouvoir les comparer à celles qui ont été traitées. [53]

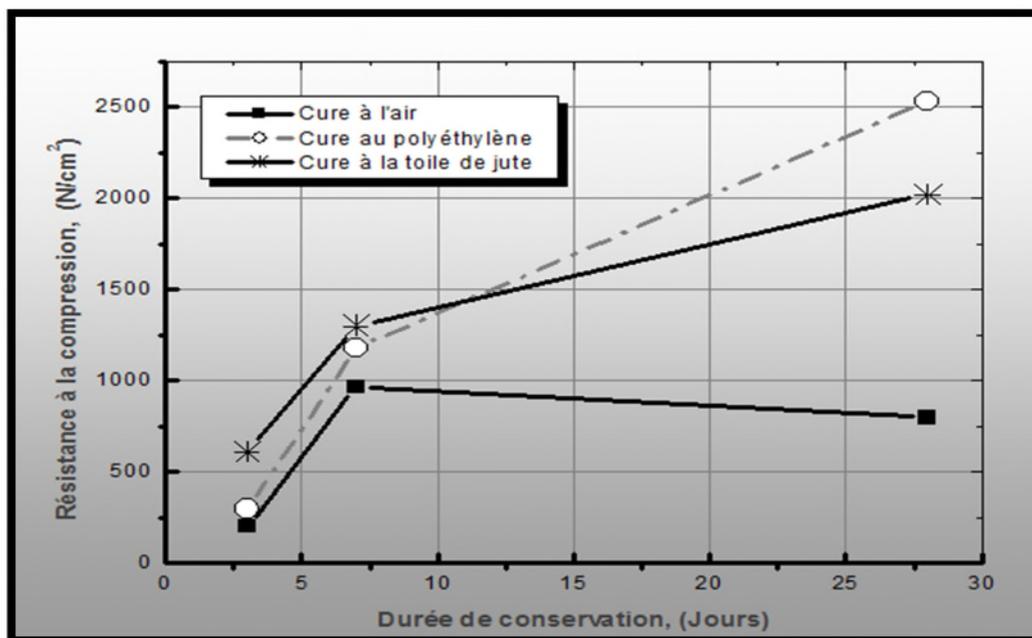


Figure II.9 : Courbe de la résistance à la compression en fonction de la méthode de cure, conservées à l'air dans température ambiante ($25\pm 2^{\circ}\text{C}$) [53]

Les résultats des tests d'absorption sont illustrés par la **Figure (II.10)**. Celui-ci montre clairement que le taux d'absorption d'eau est considérablement réduit par l'application d'une méthode de cure efficace. L'absorption de l'eau étant liée au volume des pores, il en résulte qu'une bonne hydratation aidera énormément à réduire ces derniers et donc à réduire le taux d'absorption.

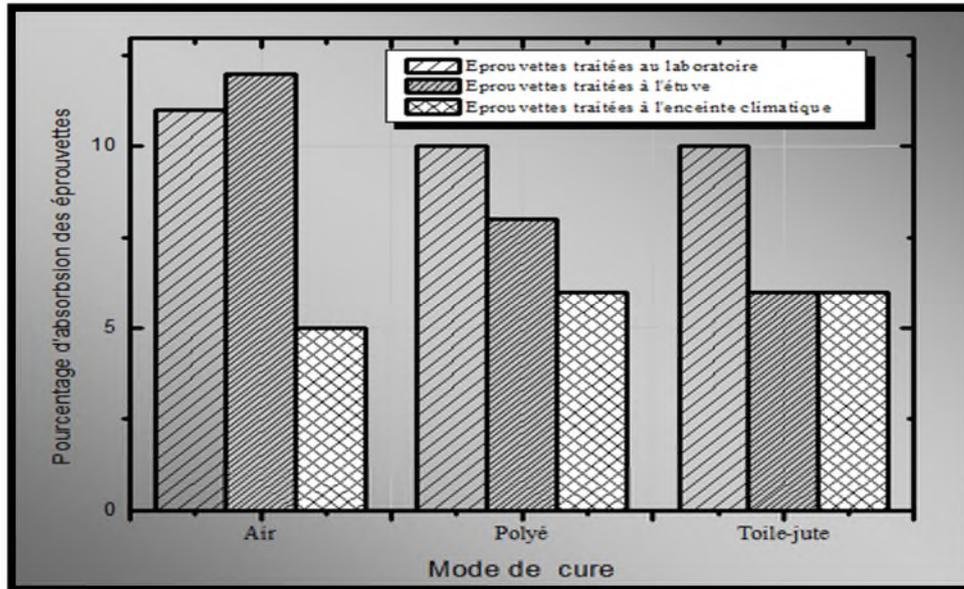


Figure II.10 : Influence des méthodes de cure sur le taux d'absorption du mortier. [53]

II.9/ Influence de granulat sur le retrait :

Le retrait est plus important dans le cas d'utilisation des granulats légers qui possèdent un module élastique plus faible et qu'ils offrent donc moins d'opposition au retrait potentiel de la pâte de ciment. Le retrait de la pâte de ciment est d'autant plus grand que le rapport E/C est plus élevé. Selon certaines études la dégradation (fissuration) qui en découle du retrait se trouve favorisée par la présence des granulats plats qui peuvent constituer des drains s'ils sont juxtaposés.

D'après **Neville AM [54]**, les granulats naturels ne sont pas sujets au retrait, mais il existe des roches dont le retrait voisine celui d'un béton à granulats sans retrait, le calcaire est classé comme granulat sans retrait, en revanche, sa dilatation très faible diminue les propriétés thermiques du béton car les granulats calcaires peuvent présenter des différences significatives au niveau du coefficient de dilatation avec la pâte de ciment, qui peut rompre la liaison pâte granulat.

II.10/ Conclusion :

La formulation rationnelle de mortier nécessite de connaître avec précision les diverses propriétés des différents constituants que l'on y incorpore.

C'est l'objectif de cette étape de l'étude qui concerne l'utilisation de sable concassé dans la fabrication du mortier.

De cette revue documentaire, on peut tirer les conclusions suivantes :

- Les sables concassés, donnent des résultats intéressants, notamment en compression. La présence de fines calcaires améliore la compacité du mélange par effet de remplissage.
- L'effet granulaire des fines calcaires contenus dans le sable de carrières à des différents pourcentages, ces fines font densifier le squelette granulaire en remplissant les vides ce qui fait diminuer la porosité, et par conséquent une augmentation de la résistance à la compression.
- Les ajouts minéraux permettent une amélioration de la résistance mécanique des mortiers qui égale ou très proche de celle du mortier témoin à court et à long terme.
- N'importe quelle eau ne peut être utilisée dans la composition des mortiers. En effet, la qualité de l'eau doit répondre à certaines exigences citées dans la norme européenne [NF EN 1008] l'eau potable distribuée est réputée conforme aux prescriptions.
- L'ajout des superplastifiants et les autres adjuvants sont très bénéfiques pour les mortiers.
- L'élévation de la température provoque l'évaporation rapide de l'humidité, tout d'abord des couches superficielles ce qui entraîne un retrait irrégulier.



CHAPITRE III

Les Caractéristiques Des Matériaux utilisés



III.1/ Introduction :

Le comportement physico-mécanique et rhéologique du mortier est le résultat d'une interaction complexe entre ses divers constituants, c'est la raison pour laquelle, nous commençons ce chapitre par une présentation des matériaux mis en œuvre avec laquelle ils entrent dans les compositions et Les caractéristiques physico-chimiques de ces matériaux ainsi que les techniques expérimentales permettant leur caractérisation en laboratoire du département de génie civil de l'université de Biskra.

On va présenter après les compositions des différents mélanges utilisés dans cette étude et leurs procédures de gâchage, et finalement on va parler des essais auxquels les mortiers sont soumis.

III.2/ Matériaux :

Nous avons utilisé pour la confection du mortier les matériaux locaux (composants usuels dans la région) suivants :

III.2.1/ Le ciment :

Le ciment utilisé dans toutes les formules de l'étude est le (CEM II/A-L 42.5).Ce ciment est principalement constitué de 94% de clinker et gypse et 6-20 % de calcaire. Savoir : Ciment portland au calcaire, provient de la cimenterie (SCIMAT) wilaya de Batna.

III.2.1.1/ Les caractéristiques chimiques et minéralogiques des ciments utilisés :

La composition chimique et minéralogique du ciment a été effectuée au niveau du laboratoire d'AIN TOUTA, par la norme **NF EN 196-2**, les analyses selon la fiche technique de la cimenterie. Sont résumées dans les tableaux. (III.1et III.2)

Tableau III.1 : la composition chimique de ciment.

Composition chimique	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl ⁻	Pert au feu	Chaux libre	Résidu insoluble
Teneur (%)	59.4	20.65	4.92	2.97	1.01	0.80	0.19	2.75	0.02	6.02	0.78	0.6

La composition minéralogique calculée à l'aide des Formule de Bogue :

- $C_3S = 4.071 CaO - 7.602 SiO_2 - 6.719 Al_2O_3 - 1.430 Fe_2O_3$
- $C_2S = 8.602 SiO_2 + 5.068 Al_2O_3 - 3.071 CaO + 1.079 Fe_2O_3$
- $C_3A = 2.650 Al_2O_3 - 1.692 Fe_2O_3$
- $C_4AF = 3.043 Fe_2O_3$

Tableau III.2 : la composition minéralogique (Formule de Bogue)

Composition minéralogique	CEM/II 42,5 (%)
C_3S	47.15
C_2S	23.35
C_3A	8.7
C_4AF	11.26

III.2.1.2/ Les caractéristique physique des ciments utilisés :

III.2.1.2.1/ La finesse (Surface spécifique) :

L'étude de La finesse de mouture pour les liants est indispensable puisqu'il influe considérablement sur la résistance mécanique, la maniabilité ...etc. La finesse d'un ciment peut être caractérisée par sa **surface massique** : c'est la surface totale des grains contenus dans une unité de masse exprimée en (m^2/kg) de poudre (cm^2/g). Elle est calculée en fonction du temps au moyen de l'appareil appelé (Perméabilimètre de Blaine) **Photo III.1**, Selon la norme **NF EN 196-6**, La surface massique Spécifique est calculée par la formule (**B. Mezghiche**) :

$$S = K_t \times K_d \times K_a \times \sqrt{T}$$

K_t : Constante de la température de l'air.

K_d : Constante de densité.

K_a : Constante de l'appareil (0,255).

T : Temps mesuré en seconde.



Photo III.1 : Dispositif employé pour la mesure de la finesse
(Perméabilimètre de Blaine).

La mesure est effectuée trois fois de suite sur la même couche de poudre. Le résultat final est donné par la moyenne des trois valeurs de temps observées.

III.2.1.2.2/ La masse volumique absolue :

C'est le quotient de la masse sèche de l'échantillon par le volume de la matière solide de celui-ci (hors pores). Elle est déterminée selon la norme **NF EN 1097-7**, La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue les granulats. On a procédé par l'utilisation la méthode du flacon (pycnomètre).



Photo III.2 : Pycnomètre.

III.2.1.2.3/ La masse volumique apparente :

La masse volumique apparente ρ_{app} est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, en tenant compte des vides qui peuvent exister entre les grains. Elle est déterminée selon la Norme **NF EN 1097-6**.

III.2.1.2.4/ La consistance normale :

Le but de l'essai de consistance est précisément de déterminer la quantité optimale d'eau de gâchage. La consistance est évaluée ici en mesurant l'enfoncement, dans la pâte d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. La consistance évaluée de cette manière sera appelée « **consistance Vicat** ». (**NF EN 196 – 3**)

III.2.1.2.5/ Le temps de prise :

Le début et la fin de prise dépend de plusieurs paramètres, il varie notamment suivent la composition chimique et la finesse de mouture de ciment étudié, il dépend aussi de la température ambiante et le cas échéant, des dosages en adjuvant, Utilisés à une même température et sans adjuvant, deux ciments différents pourront se distinguer, par une plus ou moins grande rapidité de prise, l'objectif de c'est essai est définir pour un ciment donné un temps qui soit de cette rapidité de prise **EN 196-3. Photo III.3**



Photo III.3 : Dispositif employé pour les mesures de la consistance et les temps de prise
(Appareil Vicat)

Les résultats de ces différents essais physiques sur les ciments. Sont présentés dans le tableau III.3 :

Tableau III.3 : Résultats des différents essais physiques sur ciment.

Consistance normale (%)	Temps de prise (h : min)		Masse volumique g/cm ²		Surface spécifique de Blaine cm ² /g
	Début	Fin	Absolue	Apparent	
30	2 : 30	3 : 45	3.11	1.05	3541

III.2.1.3/ les caractéristiques mécaniques des ciments utilisés :

Les ciments sont classés d'après leur résistance mécanique minimale, à la rupture par compression à 28 jours d'âge, mesurée sur des éprouvettes prismatique (4x4x16) en mortier normale **NF EN 196-1**, Un mortier normal contiendra, en poids : 1 partie de ciment ,3 parties de sable normalisé,0.5 partie d'eau :[**Mc = 450g, Ms = 1350g, Me = 225g**],[**E/C= 0.5**]

Sa composition granulométrique (sable normalisé) doit être comprise entre les limites définies au **Tableau III.4** ci-dessous :

Dimensions des tamis (mm)	Refus cumulés sur les tamis %
2.00	0
1.60	7±5
1.00	33±5
0.50	67± 5
0.16	87±5
0.08	99±1

Les résultats des essais de résistance figurent dans le **tableau III.5** :

Tableau III.5 : Résultats des différents essais mécaniques sur ciment.

Jours	Résistance en MPa	
	(R _n) Flexion	(R _c) Compression
28 J	7.2	46.8

Donc l'activité du ciment **CEM/A-L- 42.5 MPa** est vérifiée.

III.2.2/ Sable :

Le sable employé dans tous les mélanges pour notre étude est Sable de carrière de (wilaya de Biskra). La région de Biskra, constitue une zone de transition entre deux domaines très contrastés de l'Algérie : un domaine actif au Nord (l'Algérie alpine) et un domaine stable désertiques au Sud (Algérie saharienne).

Cette carrière se situe dans la région d'El-hadjeb (Biskra). Elle est représentée par des calcaires. **(Photo III.4).**

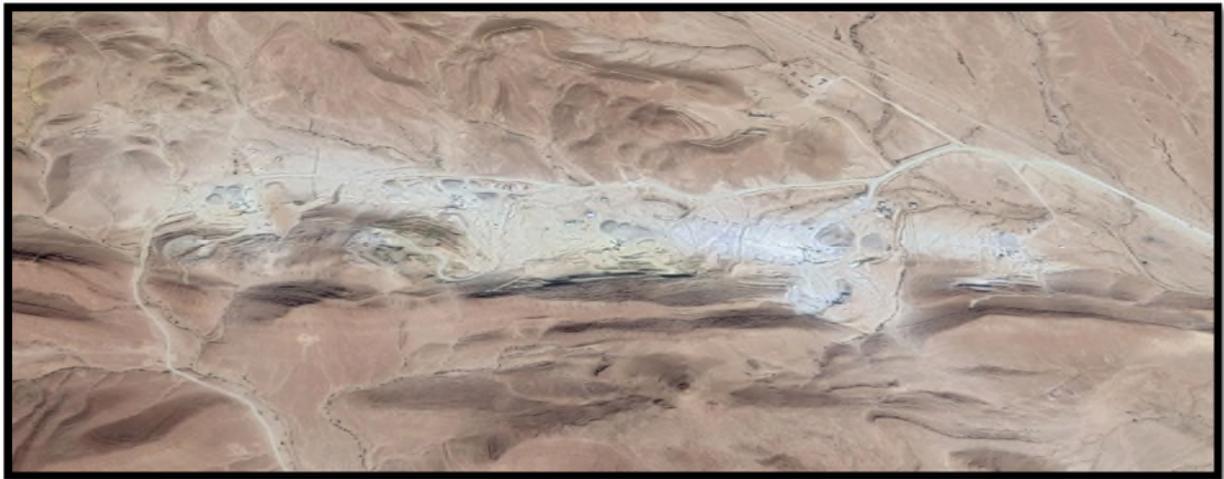


Photo III.4 : Localisations de la carrière d'El-hadjeb (Biskra) [34°46'23.4"N 5°29'60.0"E]

L'échantillon est préparé en des phases :

- ✓ Tamiser le sable (5 mm) pour garder les éléments $\leq 5\text{mm}$.
- ✓ Tamiser le sable de carrière sur le tamis de (0,08) mm pour éliminer les fines.
- ✓ Laver le sable pour se débarrasser des éléments indésirables.
- ✓ Placez le sable lavé à 25 °C pour le séchage.

III.2.2.1/ Les caractéristiques géométriques :

III.2.2.1.1/ Les analyse granulométriques :

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme **NF EN 933-1**, [Normes AFNOR], qui permet de déterminer la grosseur et les pourcentages de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension inférieure ou égale à 80 mm, en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas.

Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. La masse de sable est calculée par la formule suivante :

$$M_S \text{ (Masse de sable)} \geq 0.2 D_{\max}$$

$$D_{\max} = 5 \text{ mm}$$

$$\text{On a pris } M_S = 2 \text{ kg}$$

- Sable de carrière sans modification à l'état naturel (A.N)

- Sable de carrière tamisée et lavé (S. Fines)

Tableau III.6 : Analyse granulométrique des sables carrières (A.N) et (S) pour mortier.

N° Ordre	N° de Tami s	Sable (S)			Sable (A.N)		
		Refus Partiels %	Refus Cumulés %	Tamisâtes Cumulés %	Refus Partiels %	Refus Cumulés %	Tamisâtes Cumulés %
1	5.0	0.37	0.37	99.63	0.32	0.32	99.68
2	2.5	8.60	8.97	91.03	4.84	5.16	94.84
3	1.25	39.81	48.78	51.22	24.89	30.05	69.95
4	0.63	21.72	70.50	29.50	17.41	47.46	52.54
5	0.315	15.05	85.55	14.45	13.49	60.95	39.05
6	0.16	8.98	94.53	5.47	9.12	70.07	29.93
7	0.08	5.14	99.67	0.33	17.11	87.18	12.82
8	Plat	0.33	100	0	12.82	100	0

Les résultats obtenus sont représentés aussi sous forme d'un tracé (courbe granulométrique) sur un diagramme granulométrique comportant en abscisse la grosseur des grains et en ordonnée le pourcentage des tamisât cumulés (**Figure III.1**)

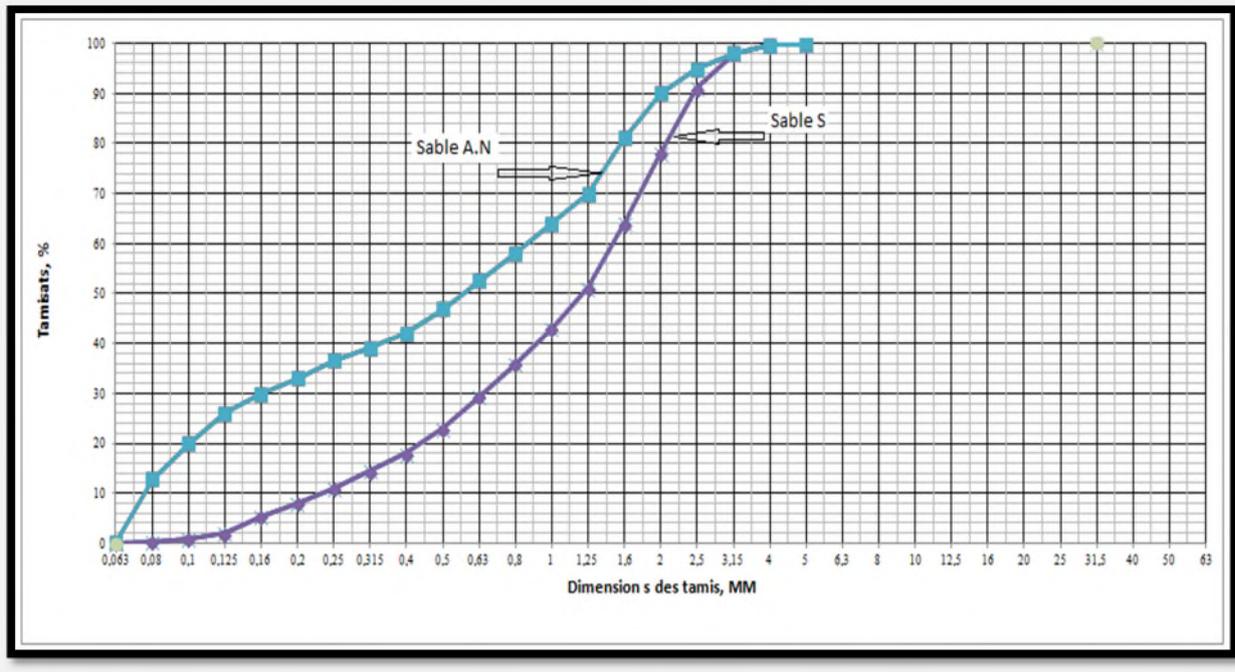


Figure III.1 : Courbes granulométriques des sables de carrière.



Photo III.5 : Tamis et tamiseuse électrique.



Photo III.6 : les formes des grains.

III.2.2.1.2/ Module de finesse :

Le module de finesse d'un sable est égal au centième de la somme des refus exprimés en pourcentage pondéral sur les différents tamis de la série suivante : **(5) - (2.5) - (1.25) - (0.63) - (0.315) - (0.16)**, il est donné par la norme **NFP 18-540**. Le module est déterminé par la relation suivante : $Mf = \Sigma Rc / 100$

Avec :

Re : refus cumulé en (%).

Tableau III.7 : Module de finesse (Mf) de sable de carrière.

Type de sable	Module de finesse
Sable de carrière tamisée et lavé (S. Fines)	3.08
Sable de carrière sans modification (A.N)	2.14

Tableau III.8 : classement de sable.

Qualité de sable	Module de finesse
sable fin	$1.80 \leq Mf \leq 2.20$
sable moyen (Préférentiel)	$2.20 \leq Mf \leq 2.80$
sable grossier	$2.80 \leq Mf \leq 3.20$

- ✓ Pour notre sable on a : -Sable de carrière tamisée et lavé : sable grossier
-Sable de carrière sans modification : sable fin

III.2.2.2/ Les caractéristiques physiques et mécaniques :

III.2.2.2.1/ La masse volumique absolue et apparente :

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/m³, ou g/cm³.

➤ **Masse volumique absolue : (NF P 18-555)**

La masse volumique absolu est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains. Elle est donnée

par la formule suivante :
$$Mv_{abs} = \frac{Mt}{Va}$$

Mt : masse totale d'échantillon.

Va : volume absolu d'échantillon.

➤ **Masse volumique apparente : (NF P 18-554)**

La masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides. Elles sont déterminées selon la méthode classique, respectivement masse d'un certain volume de matériau et éprouvette graduée, elle est donnée

par la formule suivante :
$$Mv_{app} = \frac{M_t}{V_t}$$

M_t : masse totale d'échantillons.

V_t : volume total d'échantillon.



Photo III.7 : Masse volumique absolue de sable

Carrière modifiée par pourcentage de fines.



Photo III.8 : Masse volumique apparente

De sable carrière.

III.2.2.2/ Porosité et Compacité et Indice de vides :

➤ **La compacité :**

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue. C'est le rapport entre la masse volumique apparente et la masse volumique absolue du matériau, donnée par le rapport :

$$C = \frac{Mv_{app}}{Mv_{abs}} \times 100$$

➤ **La Porosité :**

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

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

➤ **Indice de vides :**

Est le rapport du volume des vides au volume des pleins. Aussi C'est le rapport entre la porosité et la compacité :

$$I = \frac{P}{C}$$

Les principales propriétés physiques de sable carrière sont présentées dans le **tableau III.9**

Tableau III.9 : Résultats des différents essais physiques sur le sable de carrière.

Propriétés	Sable de carrière tamisée et lavé	Sable de carrière sans modification (A.N)
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.7	2.6
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.4	1.6
La compacité %	51.85	61.54
La Porosité %	48.15	38.46
Indice de vides	0.92	0.62

Tableau III.10 : Résultats de la masse volumique absolue de sable carrière modifiée par pourcentage de fines calcaire.

Propriétés	(Sc-25% fines calcaire)	(Sc-30% fines calcaire)	(Sc-35% fines calcaire)
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.7	2.7	2.7

III.2.2.3/ Les caractéristiques physico-chimiques :

III.2.2.3.1/ Equivalent de sable :

Cet essai est défini par la norme **NF P 18-598** [Normes AFNOR], il est utilisé pour évaluer la propreté du sable entrant dans la composition du mortier, par conséquent la proportion des impuretés argileuses contenants dans le sable par rapport à la quantité des grains solide sableux. Il est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. Il consiste de laver un poids défini de sable dans une solution la vente. Après agitation, on laisse le mélange se décanter pendant 20 min, on en déduit l'équivalente se sable qui est par l'équation suivent :

$$ESV = \frac{h2}{h1} \times 100$$

$$ESP = \frac{h'2}{h1} \times 100$$

ESP : équivalent de sable mesuré au piston.

ESV : équivalent de sable visuel mesuré visuellement.

h1 : hauteur du sable propre et élément fins.

h2 : hauteur du sable propre seulement.

h'2 : hauteur du sable propre seulement au piston.

Tableau III.11 : Résultats d'équivalent de sable.

Type de sable	ESV%	ESP%	Nature et qualité du sable
Sable carrière sans modification	60.5	51.8	Sable fines calcaires : Risque de retrait ou de gonflement, rejeté pour des bétons de qualité.
Sable carrière Tamisé et lavé	91.5	84.8	Sable très propre : l'absence presque totale de fines calcaires, risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton.



Photo III.9 : équivalent de sable mesuré au piston.



Photo III.10 : Machine d'agitation.

III.2.2.3.2/ Foisonnement du sable :

Au contact de teneurs en eau faibles (stockage à ciel ouvert), le volume d'un échantillon de particules fines pulvérulentes a tendance à s'accroître. Ceci a des conséquences néfastes sur la qualité des bétons ou mortier fabriqués.

L'essai consiste à mesurer la variation du volume apparent d'un échantillon de sable en fonction de l'accroissement progressif de sa teneur en eau. Les résultats sont portés sur un graphique en vue de tracer la courbe de foisonnement du sable testé.

On remarque : le volume du sable de carrière augmente par rapport le sable d'oued, Ce qui explique l'effet de fines calcaires dans l'augmentation en volume.

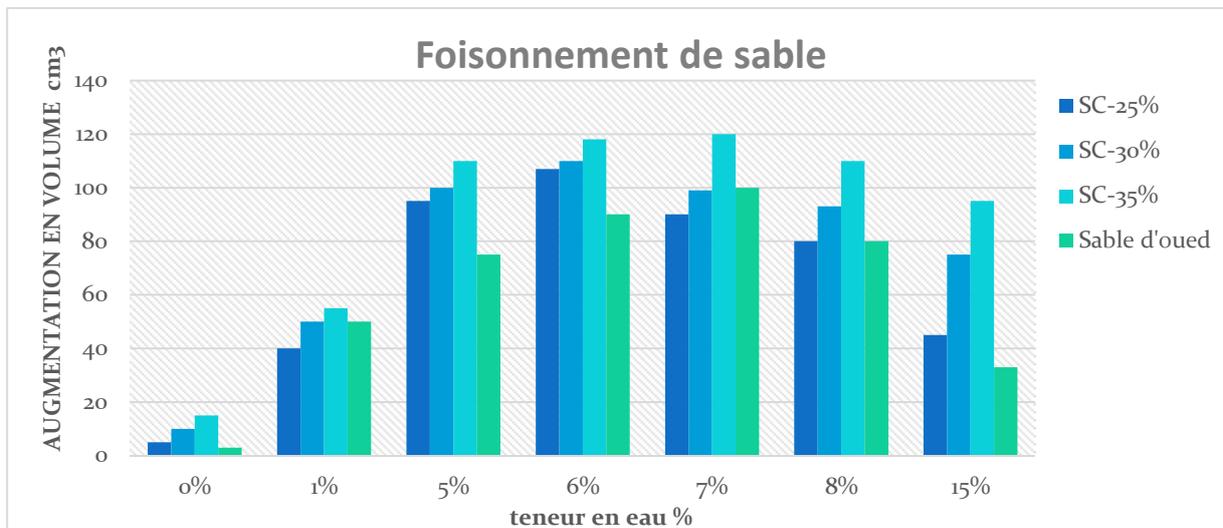


Figure III.2 : la variation du volume apparent de sable carrière (Sc) pour différents pourcentage de fines calcaire et sable d'oued en fonction de la teneur en eau %.



Photo III.11 : la variation du volume apparent des sables de carrière en fonction de la teneur en eau %

III.2.2.3.3/ La teneur en eau W :

La teneur en eau (**W**) d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec.

$$W, \% = \frac{E}{P_s} \times 100 = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

E : poids d'eau dans le matériau.

P_s : poids du matériau sec.

P_h : poids du matériau humide.

III.2.2.3.4/ Absorption d'eau :

On détermine un coefficient d'absorption, qui 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.

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 :

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

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

M_h : Masse de l'échantillon imbibé, surface sèche déterminée comme suit.

Les principales propriétés physico-chimiques de sable carrière sont présentées dans le **tableau**

II.3

Tableau III.12 : Résultats des différents essais physico-chimiques sur sable carrière

Propriétés	Sable carrière sans modification	Sable carrière Tamisé et lavé
équivalent de sable carrière au piston.	51.8	84.8
équivalent de sable carrière visuel.	60.5	91.5
La teneur en eau W	4.67	2.72
Absorption d'eau %	12.3	10

III.2.3/ Fillers calcaires :

Nous avons obtenu les éléments fins après l'opération de criblage du sable de carrière de la région d'El-hajeb par un tamis de (0,08) mm, ils possèdent les caractéristiques physiques suivantes, voir le **Tableau III.13**



Photo III.12 : Masse volumique apparente de fillers calcaires.

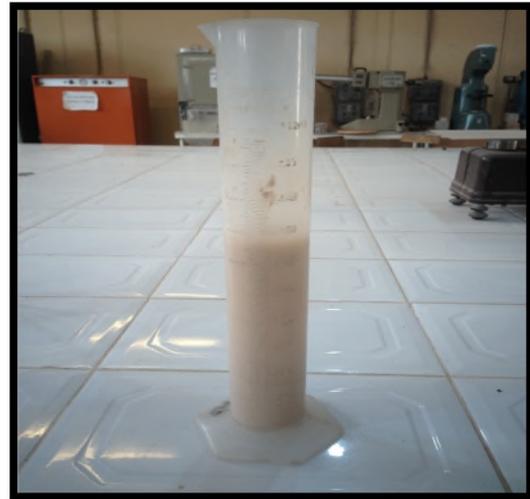


Photo III.13 : Masse volumique absolue de fillers calcaires.

Tableau III.13 : Résultats des différents essais physiques sur fillers calcaires.

Propriétés	fillers calcaires
Masse volumique absolue (g/cm ³)	2.4
Masse volumique apparente (g/cm ³)	1.31
La finesse (Surface spécifique) cm ² /g	2100
La compacité %	54.59
La Porosité %	45.41
Indice de vides	0.83

III.2.4/ Les adjuvants :

Les adjuvants sont des produits incorporés au moment du malaxage du mortier à un dosage inférieur ou égale à 5 % en masse du poids de ciment pour modifier ou améliorer les propriétés du mélange à l'état frais et ou du mortier durci, (norme NF EN 934-2). Dans notre étude on a

Utilisé les superplastifiants à savoir : Superplastifiants haute réducteur d'eau fourni par Sika El Djazair (Alger), commercialisé sous le nom **SIKA® VISCOCRETE® TEMPO12**. C'est une solution liquide se diluant facilement dans l'eau de gâchage. (Voir l'annexe 1)

III.2.4.1/ Essai d'extraits secs d'adjuvants :

Quand il se présente sous forme liquide les adjuvants sont dissous dans de l'eau, donc, il faut savoir quelle proportion d'extrait sec (c'est-à-dire d'adjuvant proprement dit) contient l'adjuvant du commerce. Pour cela on procédera conformément à la norme :

1- Pesée d'une masse M_1 d'adjuvant dans un cristalliseur ($M_1 = 10g$)

2-Evaporation de l'eau. Mise du cristalliseur à l'étuve à $105^{\circ}C$ pendant 24 heures.

Soit M_2 la masse d'adjuvant après passage à l'étuve. Le pourcentage d'extrait sec est :

$$\text{Extrait sec}(\%) = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

III.2.4.2/ Essai de densité d'adjuvant :

Pour étudier l'effet d'un adjuvant, il est important de savoir sa densité pour le calcul de son dosage entrant de la formulation du mortier.



Photo III.14 : Essai d'extrait sec d'adjuvant.

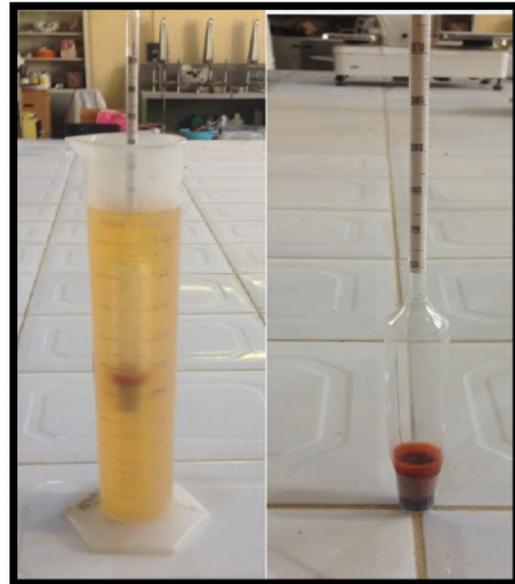


Photo III.15 : Essai de densité d'adjuvant.

Les résultats des deux essais sont présentés dans le **Tableau III.14** :

Tableau III.14 : Les caractéristiques d'adjuvants utilisés.

L'adjuvant	Extrait sec %	La densité (g/cm ³)
Superplastifiants (SIKA)	30	1.06

Les autres caractéristiques sont présentées selon la fiche technique au **tableau III.15**

pH	6 ± 1
Aspect	Liquide brun clair
Teneur en Na ₂ O Eq	≤ 1 %
Teneur en ions Cl ⁻	≤ 0,1 %

III.2.5/ L'eau de gâchage

En référence à la norme **NF EN 1008**, L'eau utilisée lors de la fabrication des mélanges de mortier est provenant du robinet exempt d'impuretés. Qui ayant une température de 20±2 ° C, sa température n'est pas contrôlée lors des gâchées. Eau potable du robinet du laboratoire de matériau de construction à l'université de Biskra.

III.3/ La composition des mortiers :

Les méthodes de formulation des mortiers courants sont basées sur l'optimisation du squelette granulaire en fonction de la granularité des principaux composants (sable et ciment) afin d'obtenir une compacité maximale du mélange pour une ouvrabilité fixée.

Dans le cadre de cette étude, on utilise la méthode de formulation de mortier (**la méthode de Skramataiv**), cette méthode repose sur le fait que la somme des volumes absolus des Matériaux d'origine dans un mètre cube est égale au volume de la composition du mortier. Le calcul de la dépense en sable selon méthode Skramtaiv (kg/m³) se fait par la relation (**Voir l'annexe 2**) :

$$S = [1000 - \left(\frac{C}{\rho_c} + \frac{E}{\rho_e}\right)] \rho_s$$

La composition des mélanges de mortiers dans le tableau III.16 :

Tableau III.16 : Les différentes compositions d'un mètre cube du mortier.

S (Kg/ m ³)	C (Kg/ m ³)	E (L/m ³)	ρ_s	ρ_c	ρ_e	E/C
1953.55	300	180	2.7	3.11	1	0.6
1829.14	350	210	2.7	3.11	1	0.6
1704.73	400	240	2.7	3.11	1	0.6
1872.55	300	210	2.7	3.11	1	0.7
1734.64	350	245	2.7	3.11	1	0.7
1596.73	400	280	2.7	3.11	1	0.7

III.4/ Mélanges :

III.4.1/ Nature des mélanges :

❖ La première série :

Cette série avait pour objectif de l'étude de l'ouvrabilité et la résistance à la compression à 7, 14, 28 et à 45 jours des mortiers à base de deux rapport E/C : 0.6 et 0.7 pour chaque dosage de ciment : 300 ,350 et 400. Ces mélanges considérés comme des mortiers témoins.

❖ La deuxième série :

Cette série à pour but d'étudier l'influence de dosage sable concassé avec des taux de fines calcaires des 25, 30 et 35 % sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers.

❖ La troisième série :

Cette série a pour but d'étudier l'influence de l'adjuvant fluidifiant sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers, Pour chaque rapport d'E/C (0.6-0.7) et pour chaque dosage de ciment (300-350-400) et pour chaque dosage des fins (25% ,30%,35%). Nous avons utilisé superplastifiants 1% dans le cas : (E/C=0.6 - C = 350 - f = 25%+30%+35%)

III.4.2/ Procédure de gâchage :

Tous les mélanges ont été fabriqués dans un malaxeur d'une capacité maximale de 5 L (voir **Photo III.16**). La même procédure de gâchage a été utilisée pour tous les mortiers :

- 1) Mettre le ciment puis l'eau dans le bol du malaxeur.
- 2) Malaxer le ciment et l'eau 30 secondes vitesses min (140 Cycle en minutes).
- 3) Ajouter sable 30 seconde vitesse min.
- 4) Malaxer le ciment et le sable et l'eau 30 secondes vitesses rapides.
- 5) Laisser reposer 1 minute 30 secondes.
- 6) Malaxer pendant 1 minute vitesse rapide (280 Cycle en minutes).

Dans le cas d'utilisation des adjuvants, ce dernier est dilué dans l'eau de gâchage.



Photo III.16 : Malaxeur d'une capacité maximale de 5 L.

III.4.3/ Confection des éprouvettes de mortier :

Pour le mortier, des éprouvettes de $(5 \times 5 \times 5)\text{cm}^3$, ont été réalisées pour les essais de compression, les éprouvettes de $(4 \times 4 \times 16)\text{cm}^3$, pour les essais de flexion et les essais de traction par flexion. Les éprouvettes ont été coulées dans des moules métalliques préalablement huilés. Le moule métallique à trois alvéoles et sa hausse étant fermement fixés à **la table à choc**, on introduit la première des deux couches de mortier. La couche est étalée uniformément

en utilisant la grande spatule puis serrée par 60 chocs. Le deuxième couche est alors introduite, nivelée avec la petite spatule et serrée à nouveau par 60 chocs.

Le moule est enlevé de la table à choc, et après avoir retiré la hausse, on enlève l'excédent de mortier par arasage. la surface des éprouvettes est ensuite lissée. Les moules remplis avec le mortier frais sont ensuite recouverte par un film plastique jusqu'au démoulage. Le démoulage est effectué après 24 heures.



Photo III.17 : La table à choc.



Photo III.18 : Les moules métalliques.

III.5/ Procédures expérimentales :

III.5.1/ Mode de cure :

Le démoulage est effectué après 24 heures. Ensuite, les éprouvettes sont curées de la manière suivante :

12 éprouvette cubiques $5*5*5 \text{ cm}^3$ sont conservées à l'eau à une température de $(20\pm 2 \text{ }^\circ\text{C})$.

- 3 éprouvettes écrasées à 7 jours.
- 3 éprouvettes écrasées à 14 jours.
- 3 éprouvettes écrasées à 28 jours.
- 3 éprouvettes écrasées à 45 jours.

12 éprouvettes prismatiques $4*4*16 \text{ cm}^3$ conservées à l'eau à d'une température de $(20\pm 2 \text{ }^\circ\text{C})$ et à l'air pour le retrait.

- 3 éprouvettes écrasées à 28 jours.

- 9 pour le retrait, le gonflement et la perte de masse.

Les mortiers ont subis des essais d'ouvrabilités.



Photo III.19 : épreuve 4*4*16 et 5*5*5

III.5.2/ Description des essais :

III.5.2.1/ Essais sur le mortier frais :

III.5.2.1.1/ Essai d'étalement à la table à secousse :

Selon la norme **EN 12-358**, cet essai d'étalement est une mesure testant plus particulièrement l'aptitude du béton et mortier à s'étaler par écoulement, L'essai est exécuté sur une table à laquelle on peut imprimer des secousses verticales à l'aide d'une manivelle (**Figure III.3**). On démoule sur la table un tronc de cône et on le soumit à un série de 30 secousses, en suite on mesure le diamètre d'étalement $E\% = (D'_2 + D_2)/2$

Avec : D'_2 et D_2 = Diamètre final dans deux axes.

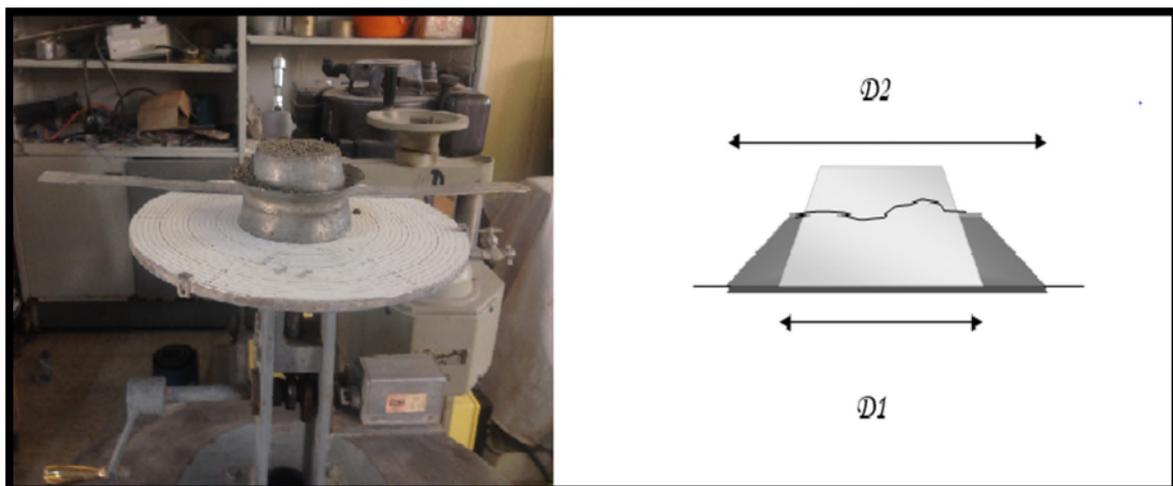


Figure III.3 : Table à secousses et la mesure d'étalement.

III.5.2.2/ Essais sur le mortier durci :

III.5.2.2.1/ Essai de résistance à la compression :

Les essais de résistance à la compression (R_c) par écrasement ont été effectués sur des éprouvettes prismatiques $5*5*5 \text{ cm}^3$ conformément à la norme **NFP 18-406**. La résistance à la compression est calculée à partir de la moyenne de 3 essais réalisés sur des éprouvettes identiques (même composition, mise en œuvre et conditions de cure). L'écrasement des éprouvettes est fait sur une presse hydraulique de force 1300 KN (**photo III.20**) et répandant aux prescriptions de la norme NFP 18-411. La résistance à la compression sera calculée selon l'équation :

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

Où :

R_c : Résistance à la compression en MPa.

F_c : Charge de rupture en N.

b : Côté de l'éprouvette en mm



Photo III.20 : Presse hydraulique
(Machine de compression)

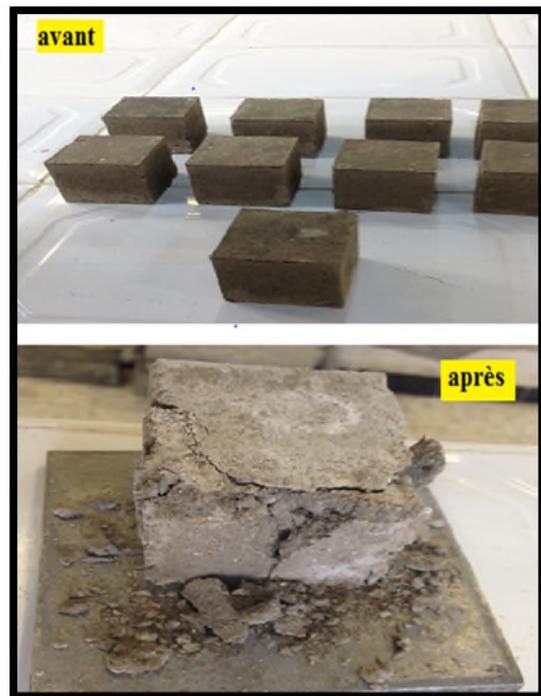


Photo III.21 : les éprouvettes avant et après
écrasement.

III.5.2.2.2/ Essai de résistance à la flexion et traction par flexion :

Les essais de résistance à la flexion et traction par flexion (R_f) ont été effectués sur des Éprouvettes prismatique $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$. Il y a plusieurs méthodes pour calculer la résistance à la traction, mais vu que l'utilisation de l'essai de traction direct est difficile, alors on a choisi l'essai de traction par flexion. L'essai de traction par flexion est le plus couramment utilisé, il Consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté a et de longueur $4a$. La résistance à la flexion est donnée par la formule :

$$R_{fl} = 1,5 \frac{F_f}{b^3} \times L$$

R_f : Résistance à la flexion en MPa.

F_f : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion N.

L : Longueur qui sépare les deux appuis inférieurs en mm

b : Côté de l'éprouvette en mm



Photo III.22 : Presse hydraulique pour l'essai de traction par flexion.

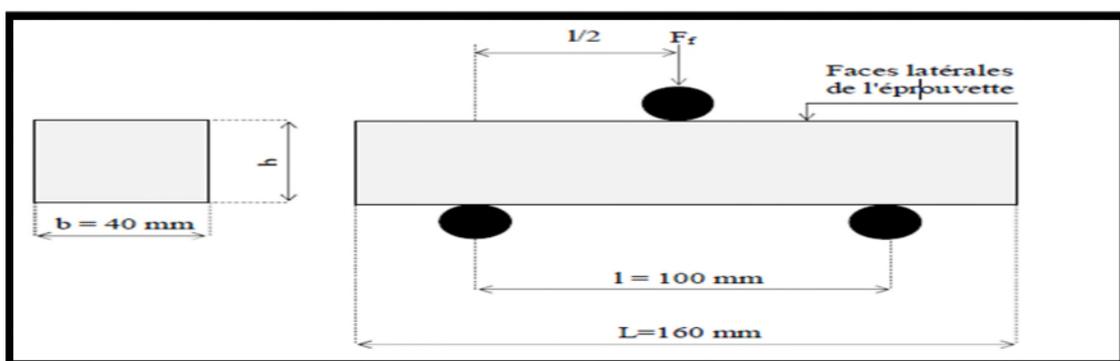


Figure III.4 : Dispositif pour l'essai de traction par flexion (3 points)

III.5.2.2.3/ Perte de masse :

La perte de masse du mortier a été mesurée à l'aide d'une balance de 0.01g de précision, selon la formule suivante :

$$PM = \frac{M_i - M_0}{M_0} \times 100$$

Avec :

PM : la perte de masse (%).

M_i : la masse de l'éprouvette à l'état initial.

M₀ : la masse de l'éprouvette à l'âge j.

III.5.2.2.4/ Essai de la capacité d'absorption d'eau total :

La capacité d'absorption d'un mortier donne une idée générale sur la présence et l'importance des vides (pures). C'est une manière comme une autre de tester la compacité du mélange. Plus le béton est compact plus sa capacité d'absorption est faible et donc plus il est étanche.

Cette capacité d'absorption est déterminée par une méthode simple, les éprouvettes de mortier sont pesés après leur passage à l'étuve (à 105°C) d'où elles ne sont retirées qu'après stabilisation de leurs poids soit (**Ps**), ensuite elles sont entièrement trempées dans l'eau pendant 24 H, puis retirées et pesées, soit (**Ph**). La capacité d'absorption est donnée par la formule suivante :

$$Ab, \% = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$$

III.4.2.2.5 Essai de retrait :

Mesure des variations de longueur (retrait **NF P 15-433**), On sait que la réaction d'hydratation s'accompagne d'une réduction de volume, appelé contraction. L'eau qui s'évapore d'un mortier conservé à l'air libre provoque le retrait, qui est la conséquence de la perte d'eau libre. Lorsque cette eau se retire du matériau, une contraction se produit automatiquement.

La mesure de retrait s'effectue donc sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4x4x16) cm en mortier .munis de plots à leurs extrémités et conservés après démoulage, dans une enceinte à 20°C et 50% d'humidité relative, ce retrait progresse à peu près comme le logarithme entre 1 et 28 jours.

Cet essai consistera à mesurer le retrait et le gonflement (augmentation du volume du mortier).

$d\ell(t)$: la valeur lue sur le comparateur au temps t .

L : la longueur de base prise égale à 160 mm

L'éprouvette a une longueur au temps considéré :

$$\ell = L + d\ell(t)$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par ε et a pour expression :

$$\varepsilon(t) = \Delta\ell(t)/L$$

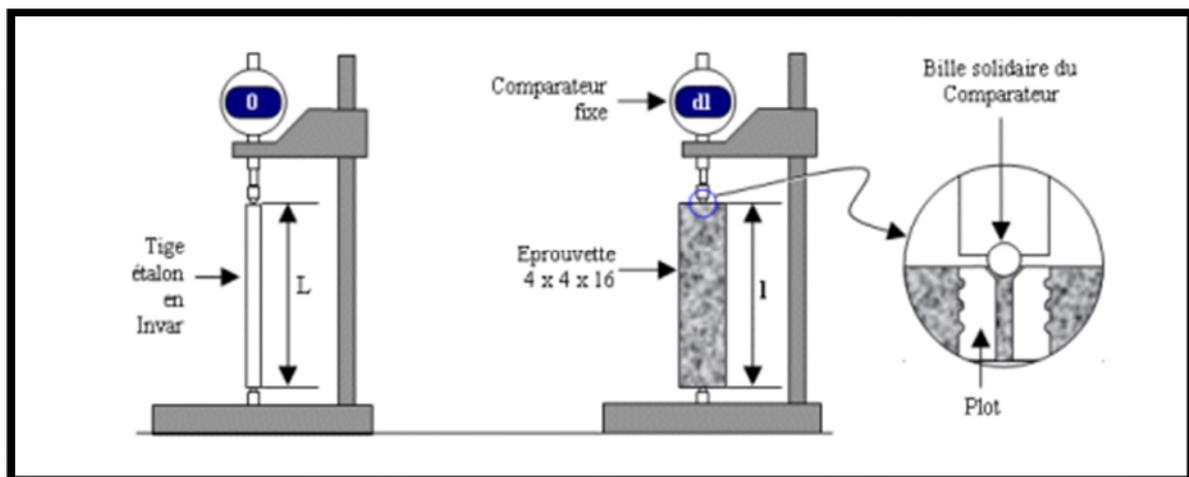


Figure III.5 : La mesure de retrait.



Photo III.23 : Dilatomètre à comparateur pour retrait- gonflement du mortier.

III.6/ Conclusion :

La présentation des caractéristiques des matériaux utilisés, la composition des mélanges et les procédures expérimentales vont nous permettre de mieux analyser les résultats et d'avoir une meilleure compréhension de l'influence des différents paramètres étudiés sur le comportement physico-mécanique et rhéologique des mortiers confectionnés à base de sable carrière.



CHAPITRE IV

Résultats et discussion



IV.1/ Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les résultats obtenus expérimentalement des différents essais effectués sur les études des mortiers confectionnées selon les différentes combinaisons des fines de sable de carrière et d'adjuvant.

Les abréviations utilisées dans les études suivantes :

Mortier frais : étude de comportement rhéologique des mortiers frais.

- ✓ l'influence des pourcentages fines calcaires, (0% ,25%,30%,35%)
- ✓ l'influence de l'adjuvant fluidifiant, (super plastifiant dosage 1%)

Sur :

- La perte de maniabilité des mortiers frais (affaissement des mortiers) pour mortier à base de sable de carrière.

Mortier durci : étude des comportements mécaniques.

- ✓ l'influence des pourcentages fines calcaires, (25%,30%,35%)
- ✓ l'influence de différent rapport **E/C** la quantité d'eau, (**E/C** =0.6, E/C=0.7)
- ✓ l'influence de dosages de ciment **C** = (300-350-400) kg/m³
- ✓ l'influence de l'adjuvant fluidifiant, (super plastifiant dosage 1%)

Sur :

- La résistance à la compression. flexion et traction par flexion.
- La flexion et traction par flexion.
- Perte de la masse.
- Absorption d'eau.
- Retrait et gonflement

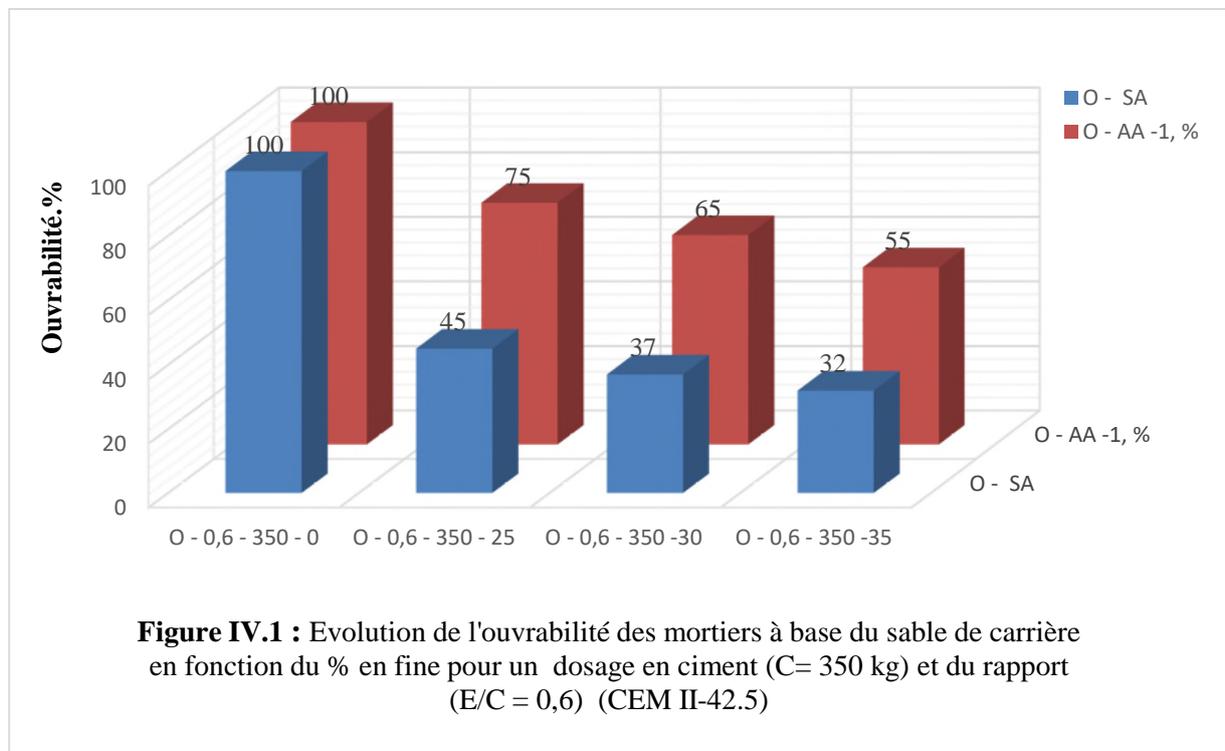
IV.2/ Comportement du mortier frais :

IV.2.2/ L'ouvrabilité :

L'ouvrabilité est une qualité essentielle du mortier, elle peut se définir comme la facilité de mise en œuvre du mortier. D'après la mesure d'étalement on remarque l'évolution de l'ouvrabilité, les figures **IV.1** :

- On remarque que l'ouvrabilité des mortiers diminue avec l'augmentation de pourcentage des fines calcaires (0%,25%,30%,35%), pour un dose de ciment 350 kg , rapport **E/C** = 0.6

- On remarque aussi que l'ouvrabilité des mortiers augmente avec l'utilisation d'adjuvant fluidifiant (superplastifiants pour un dosage 1%).



IV.3/ Comportement du mortier durci :

IV.3.1/ Résistance à la compression :

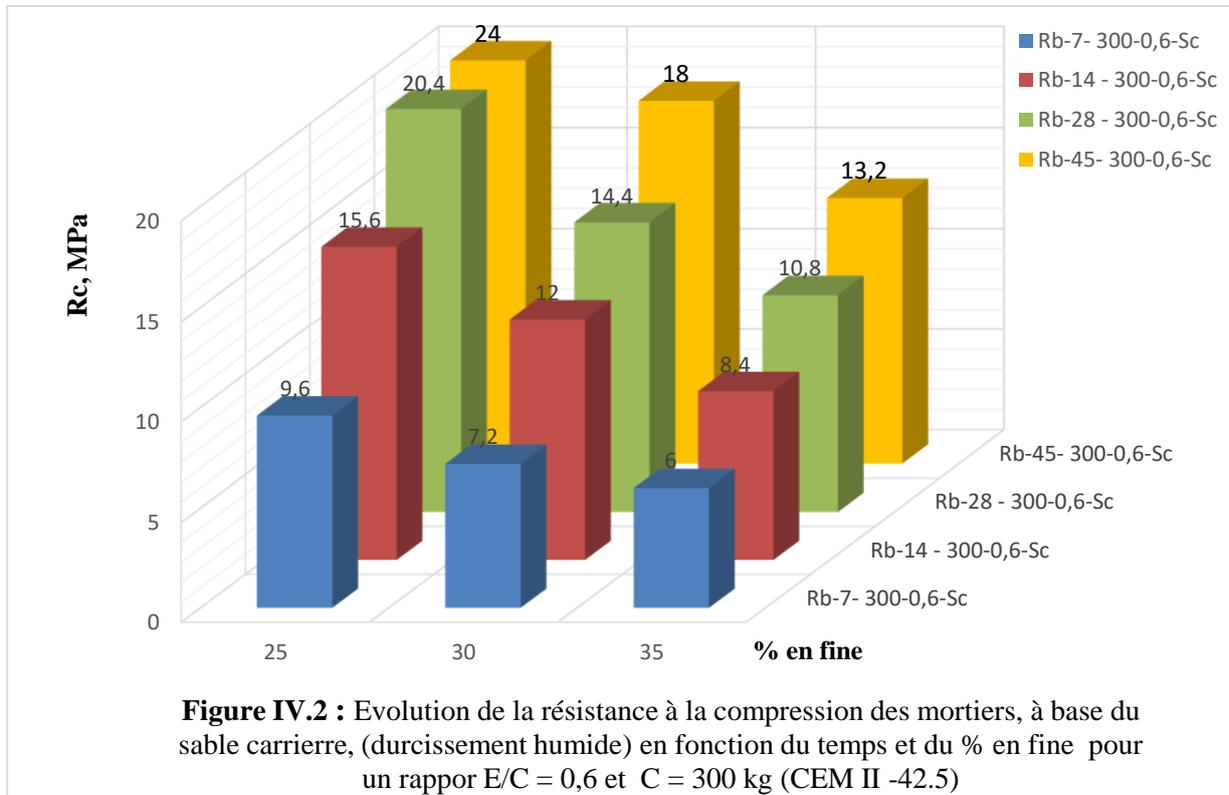
Les figures IV.2, IV.3, IV.4 et IV.5 présentent la variation de la résistance à la compression des mortiers à base de sable carrière en fonction de rapport E/C (0.6 et 0.7) pour les dosages de ciment C = (300-350-400) kg/m³ et pour le différent pourcentage de fines calcaires (25 %, 30 %, 35 %), pour l'cas de E/C = 0.7 on étudie le pourcentage de fines calcaires 30% pour la comparaison.

On remarque ce qui suit :

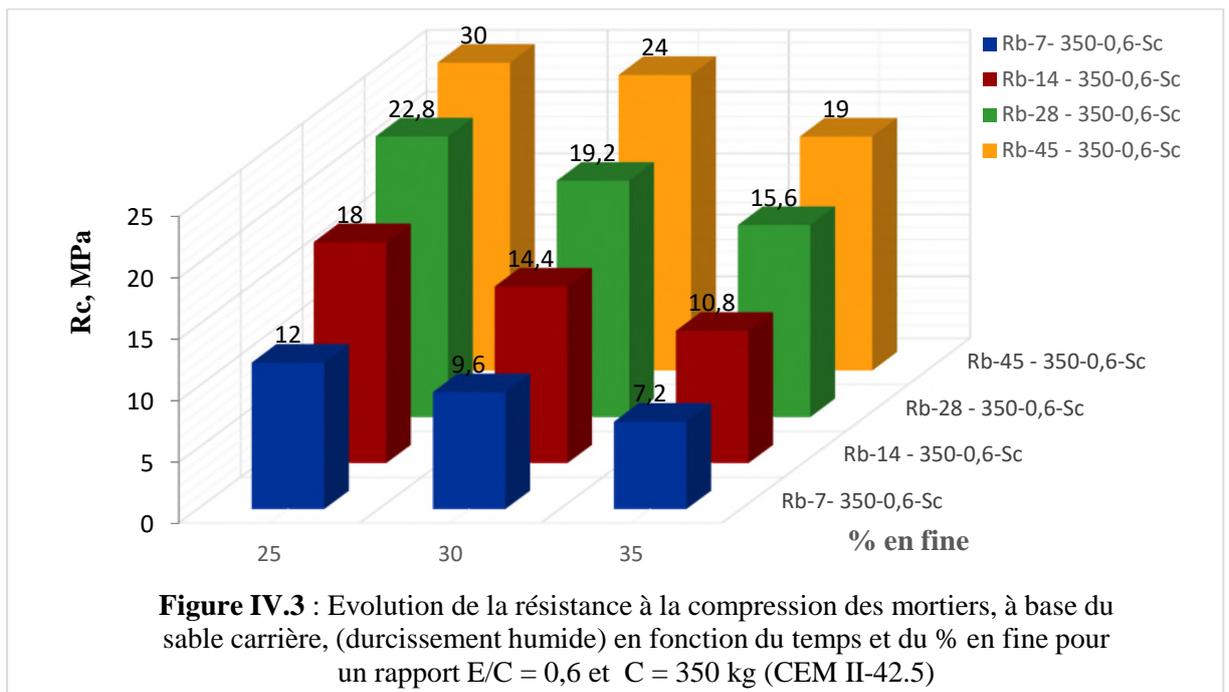
- Les mortiers à base de sable de carrière d'un rapport E/C = 0,7 ont donné une meilleure résistance à la compression par rapport au mortier avec E/C = 0,6. Ce qui explique un manque d'eau pour le rapport E/C = 0,6.
- Les échantillons à dosage de ciment C = 400 kg/m³ ont donné un résultat meilleur que celles avec un dosage de (300, 350), à 7, 14, 28 et 45 jours.

- Les échantillons avec une dose de 25 % de fines calcaires ont donné un meilleur résultat que les pourcentages (30 % ,35 %), à 7, 14,28 et 45jours.

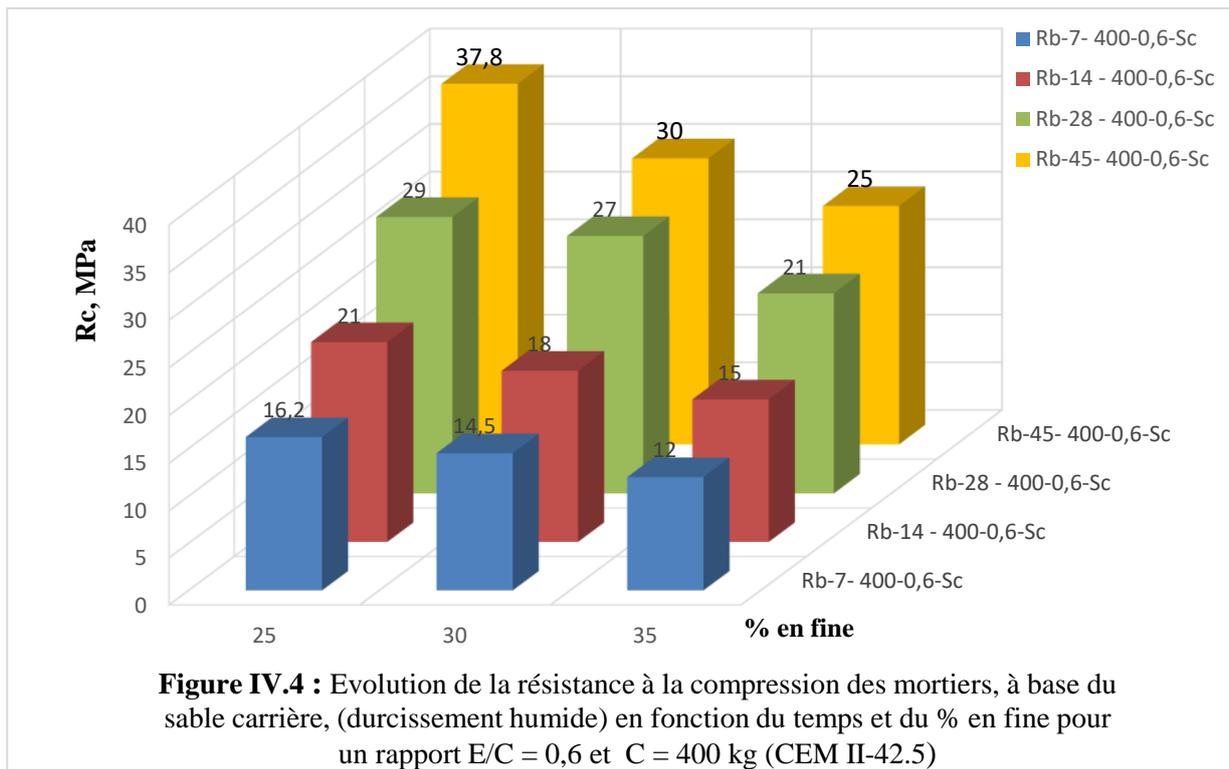
1) $C = 300 \text{ kg/m}^3$



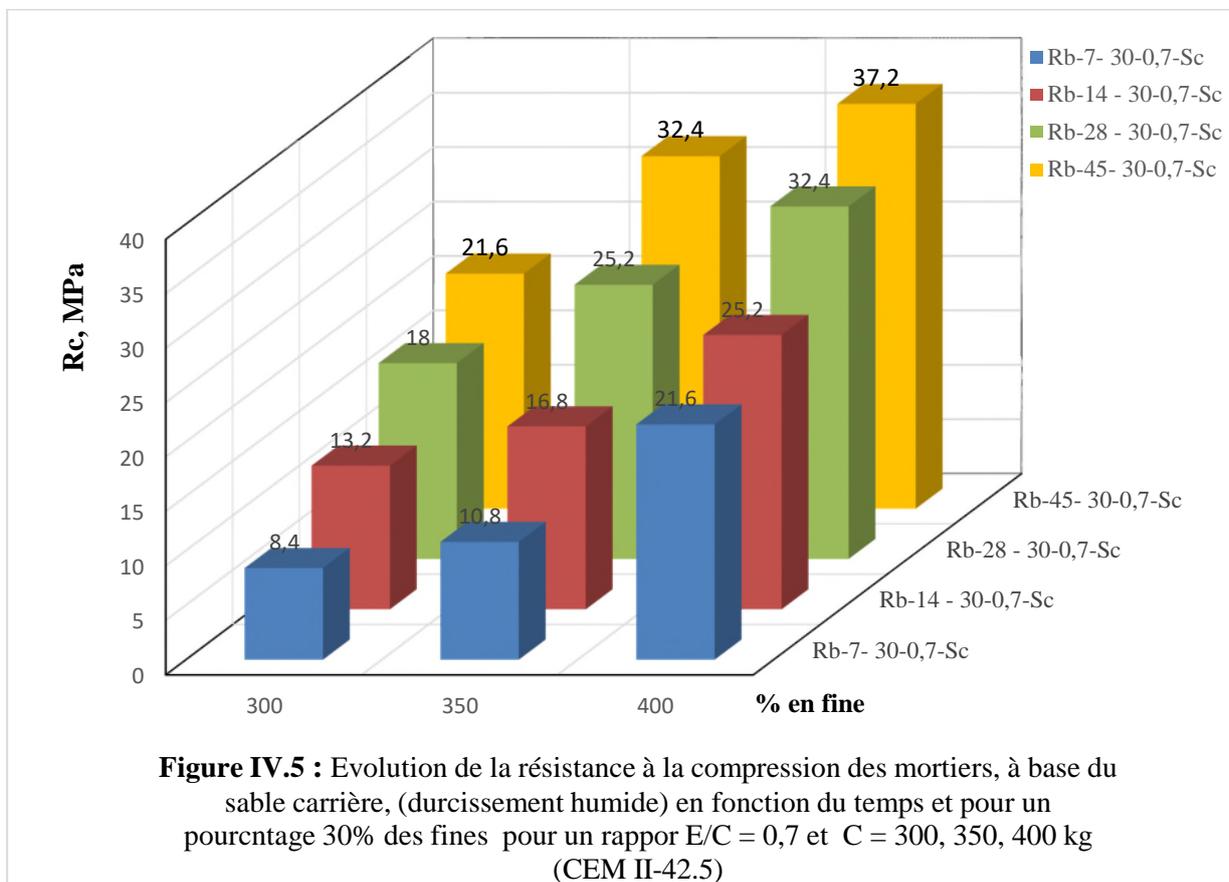
2) $C = 350 \text{ kg/m}^3$



3) $C = 400 \text{ kg/m}^3$



4) $E/C = 0,7 - C = (300-350-400) \text{ kg/m}^3$



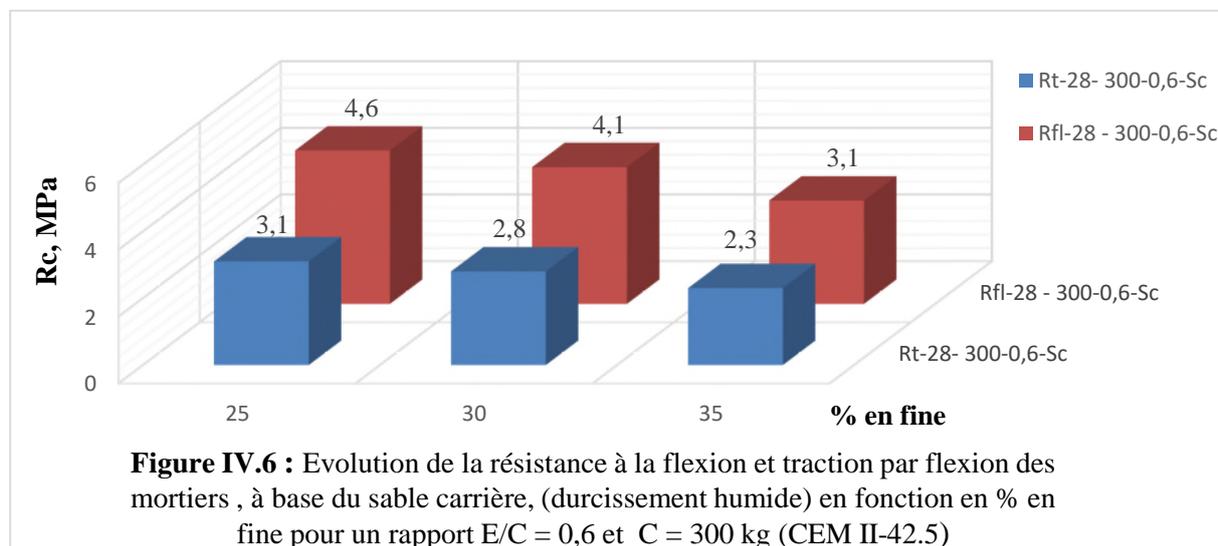
IV.3.2/ Résistance à la flexion et traction par flexion :

Les figures IV.6, IV.7 et IV.8 présentent la variation de la résistance à la flexion et traction par flexion des mortiers à base de sable carrière en fonction de rapport E/C (0,6). Pour les dosages de ciment C = (300-350-400) kg/m³ et pour le différent pourcentage de fines calcaires (25 %, 30 %, 35 %).

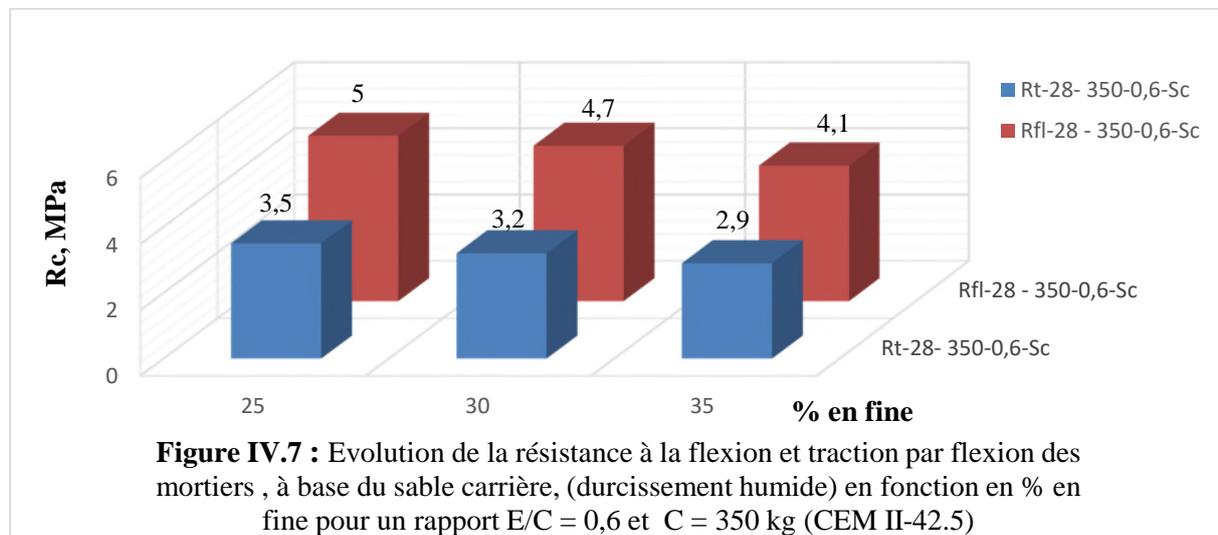
On aperçoit :

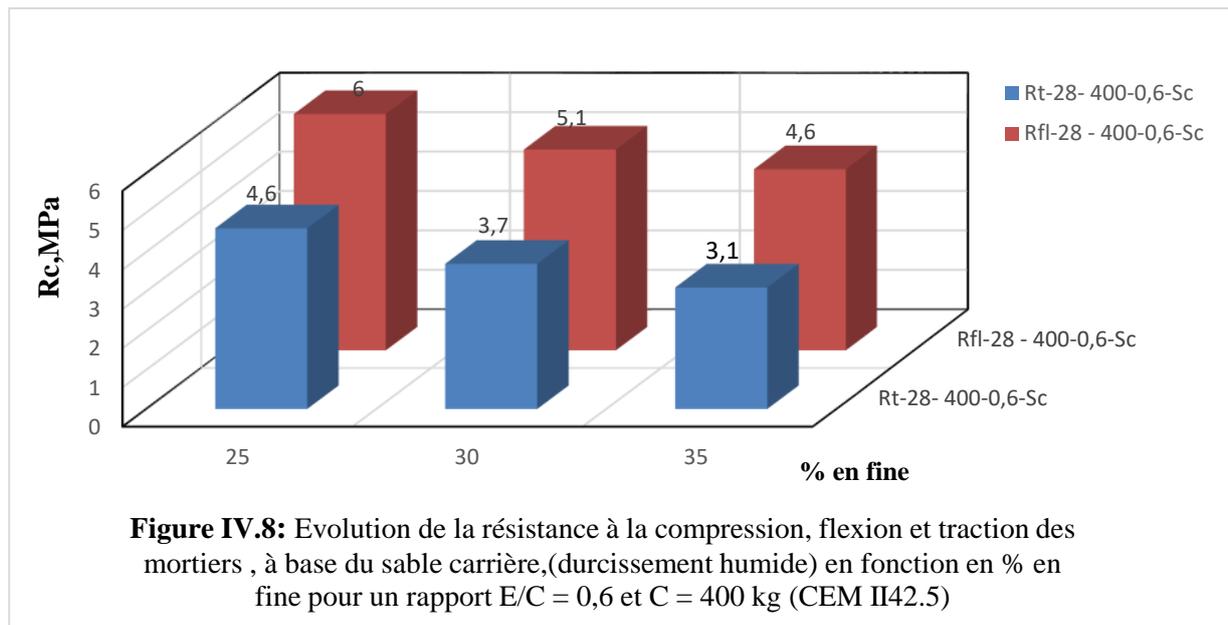
- Les échantillons à dosage de ciment C = 400 kg/m³ ont donné un meilleur résultat que les autres (300, 350), à 7, 14, 28 et 45 jours.
- Les échantillons à dose de 25 % de fines calcaires assurent un meilleur résultat que celles avec un pourcentage (30 %, 35 %), à 7, 14, 28 et 45 jours.

1) C = 300 kg/m³



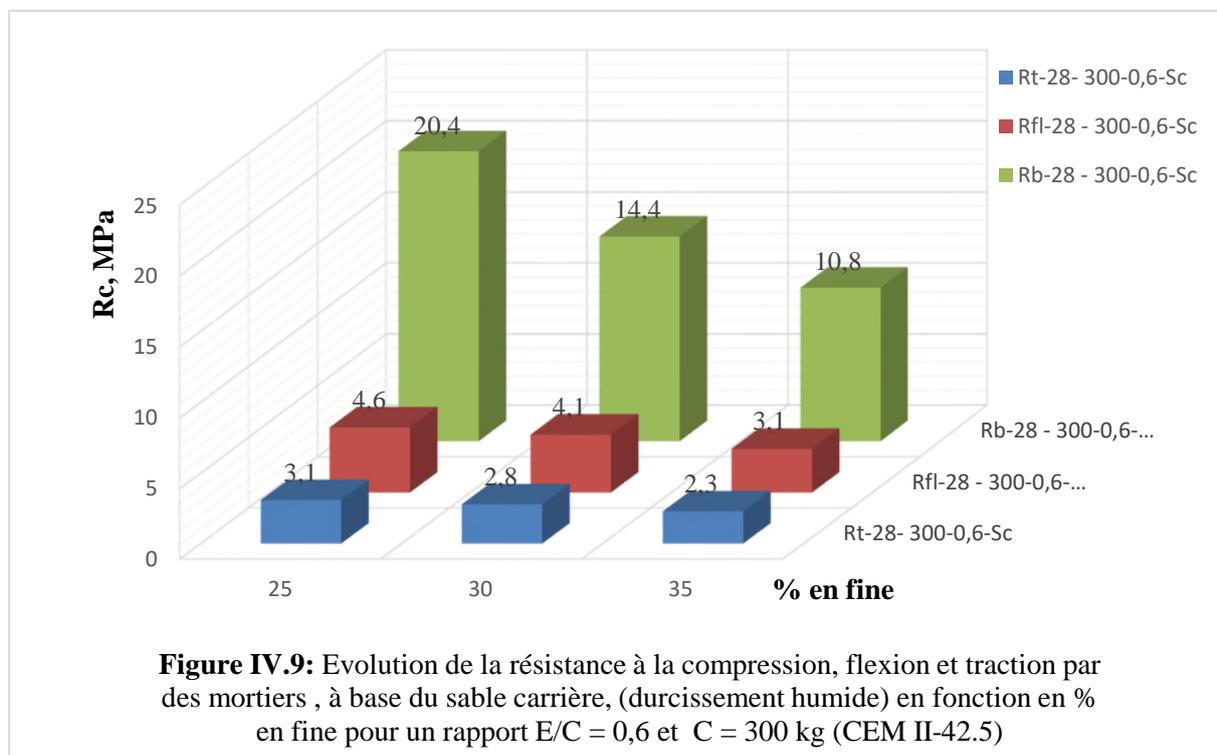
2) C = 350 kg/m³



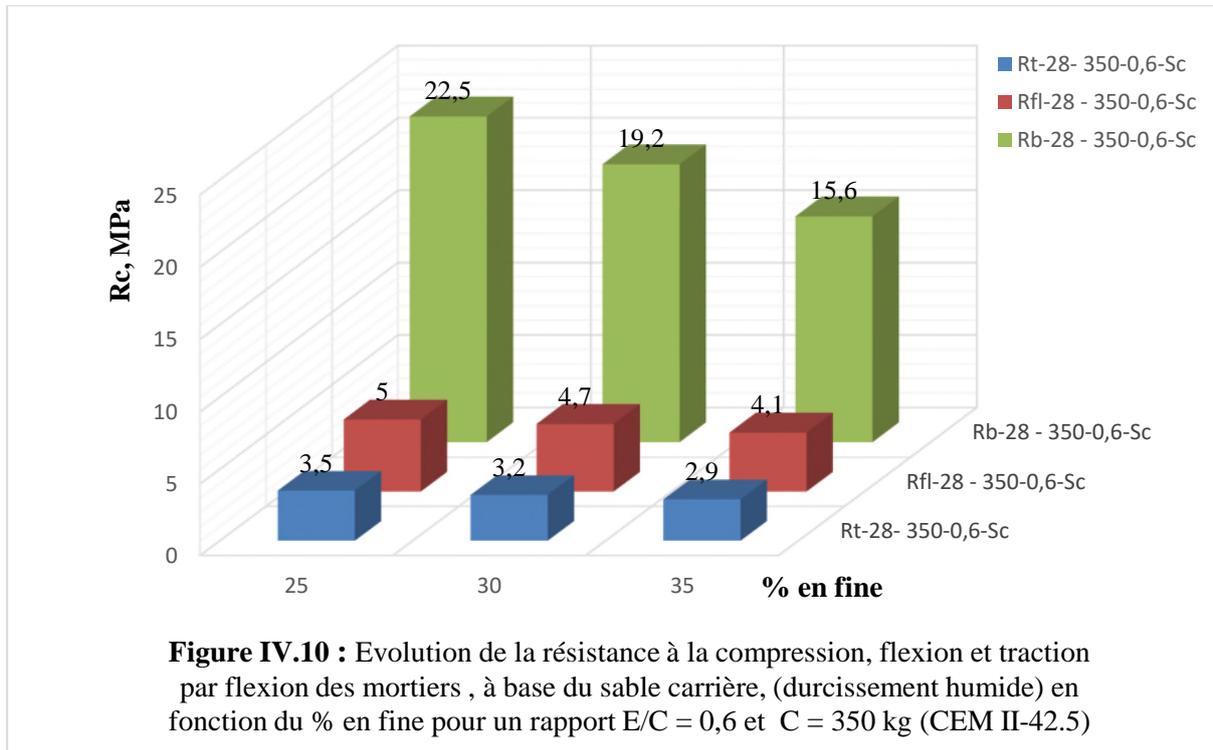
3) $C = 400 \text{ kg/m}^3$ 

IV.3.3/ Comparaison de la résistance mécanique à la compression et flexion et traction par flexion :

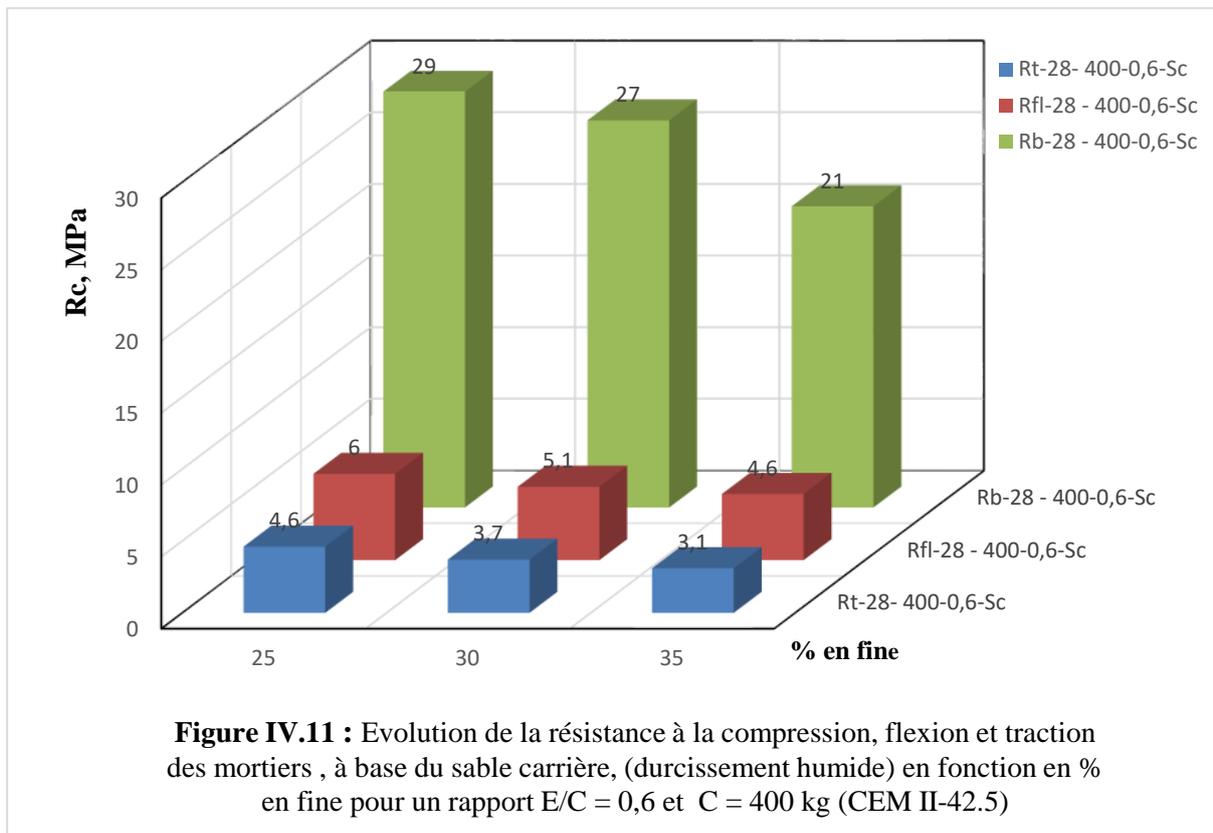
D'après la comparaison entre les figures IV.9, IV.10, IV.11, On a trouvé que la résistance à la compression avec des différentes doses de ciment toujours plus importante qu'à la traction et à la flexion pour tous types de mortier.

1) $C = 300 \text{ kg/m}^3$ 

2) $C = 350 \text{ kg/m}^3$



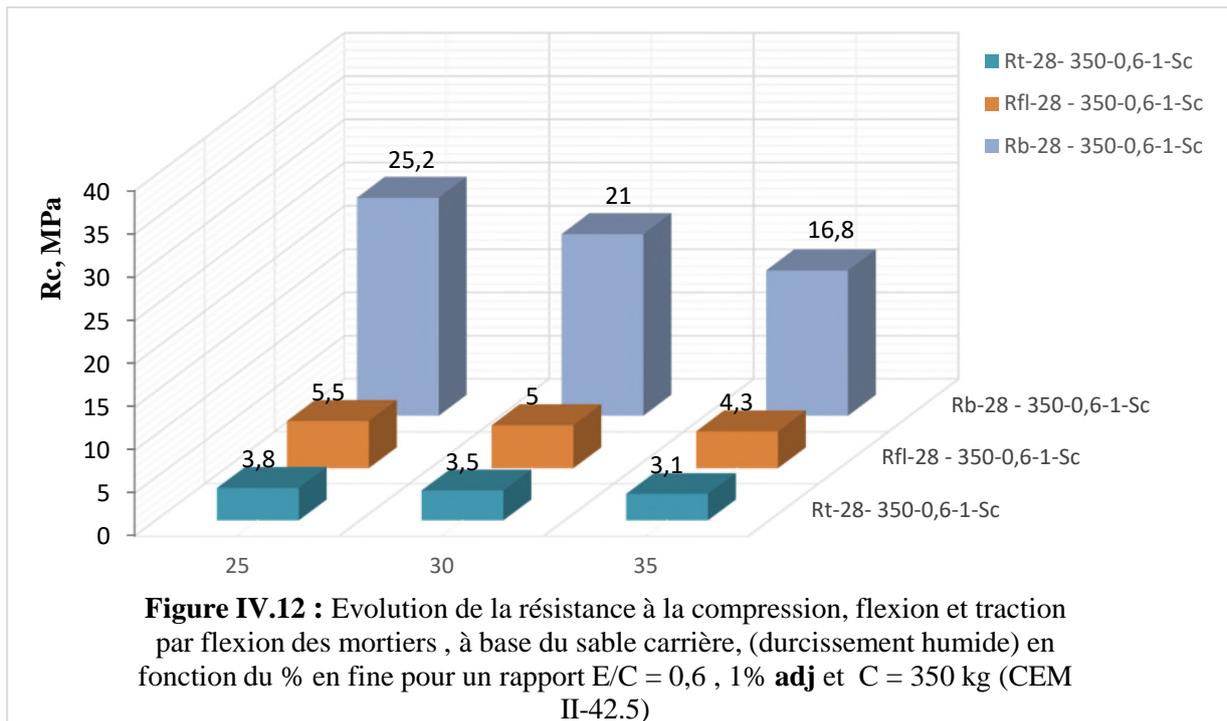
3) $C = 400 \text{ kg/m}^3$



IV.3.4/ Influence des adjuvants sur les résistances mécaniques :

Le mortier avec un adjuvant fluidifiant super plastifiant d'un pourcentage de **1%**, présente une résistance mécanique mieux qu'un mortier sans adjuvant. Pour un durcissement de 7, 14,28 et 45 jours dans un endroit humide.

Après la figure IV.12. On a aperçu que les résistances mécaniques des mortiers avec adjuvant ont plus importants que les résistances mécaniques que les mortiers sans l'adjuvant fluidifiant.



IV.3.5/ La capacité d'absorption d'eau totale :

Les figures IV.13 et IV.14, présentent le résultat de l'absorption d'eau par les mortiers à base de sable de carrière avec un rapport de $E/C = 0,6$ et $0,7$. Pour un dosage de ciment $C = (300-350-400) \text{ kg/m}^3$, et pour un pourcentage de fines calcaires (25 %,30 %,35 %),

Note : Pour le cas ou $E/C = 0,7$ On a pris un pourcentage de 30% de fines calcaires pour la comparaison.

On remarque la suite :

- L'augmentation du pourcentage de fines calcaires diminue l'absorption d'eau dans les mortiers à base de sable de carrière.
- L'augmentation de la dose de ciment diminue aussi l'absorption d'eau dans les mortiers à base de sable de carrière.

- En comparant les rapports $E/C = 0,7$ et $E/C = 0,6$ on a remarqué que le premier absorbe plus d'eau.

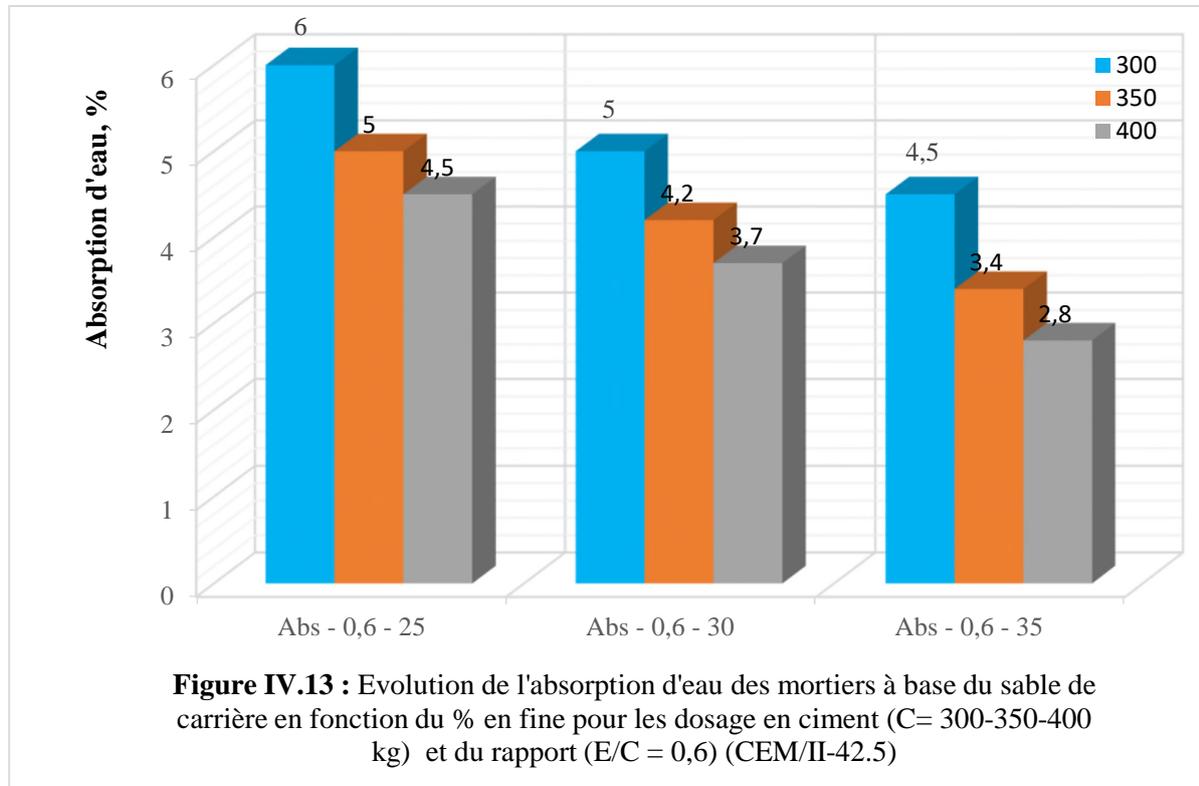


Figure IV.13 : Evolution de l'absorption d'eau des mortiers à base du sable de carrière en fonction du % en fine pour les dosage en ciment (C= 300-350-400 kg) et du rapport (E/C = 0,6) (CEM/II-42.5)

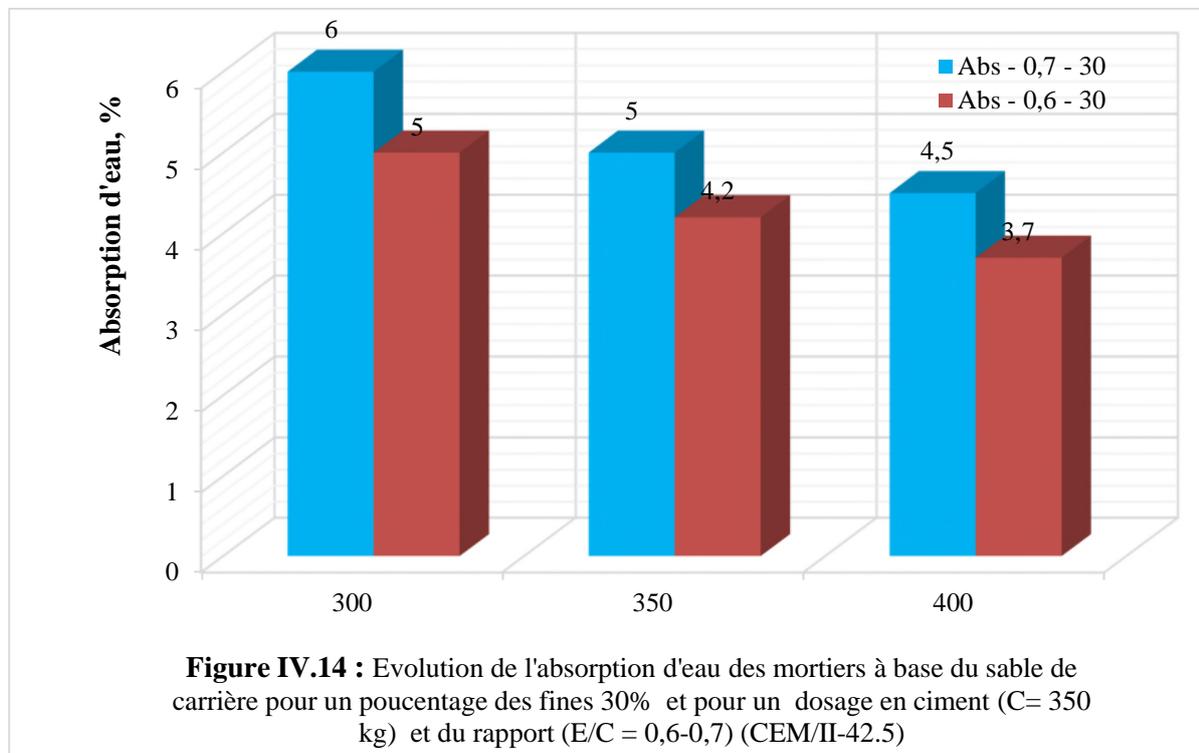


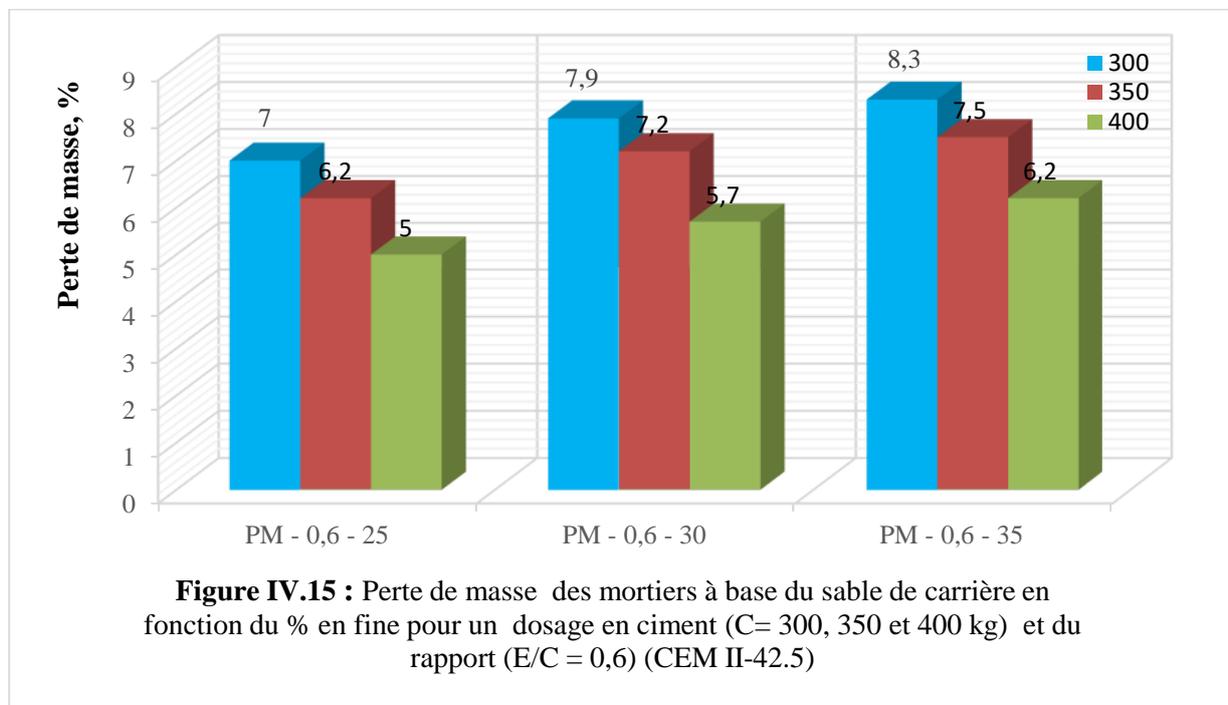
Figure IV.14 : Evolution de l'absorption d'eau des mortiers à base du sable de carrière pour un pourcentage des fines 30% et pour un dosage en ciment (C= 350 kg) et du rapport (E/C = 0,6-0,7) (CEM/II-42.5)

IV.3.6/ La perte de masse :

Le figure **IV.15** présent les résultats de la perte de masse des mortiers à base sable de carrière dans l'air en fonction les dosages de ciment $C = (300-350-400) \text{ kg/m}^3$ et pour les différents pourcentages de fines calcaires (25 %,30 % ,35 %).

On remarque :

- l'augmentation de la dose de ciment diminue la perte de masse dans les mortiers à base de sable de carrière.
- On remarque aussi la perte de masse dans les mortiers à base sable de carrière augmente en fonction de l'augmentation de pourcentage des fines calcaires.



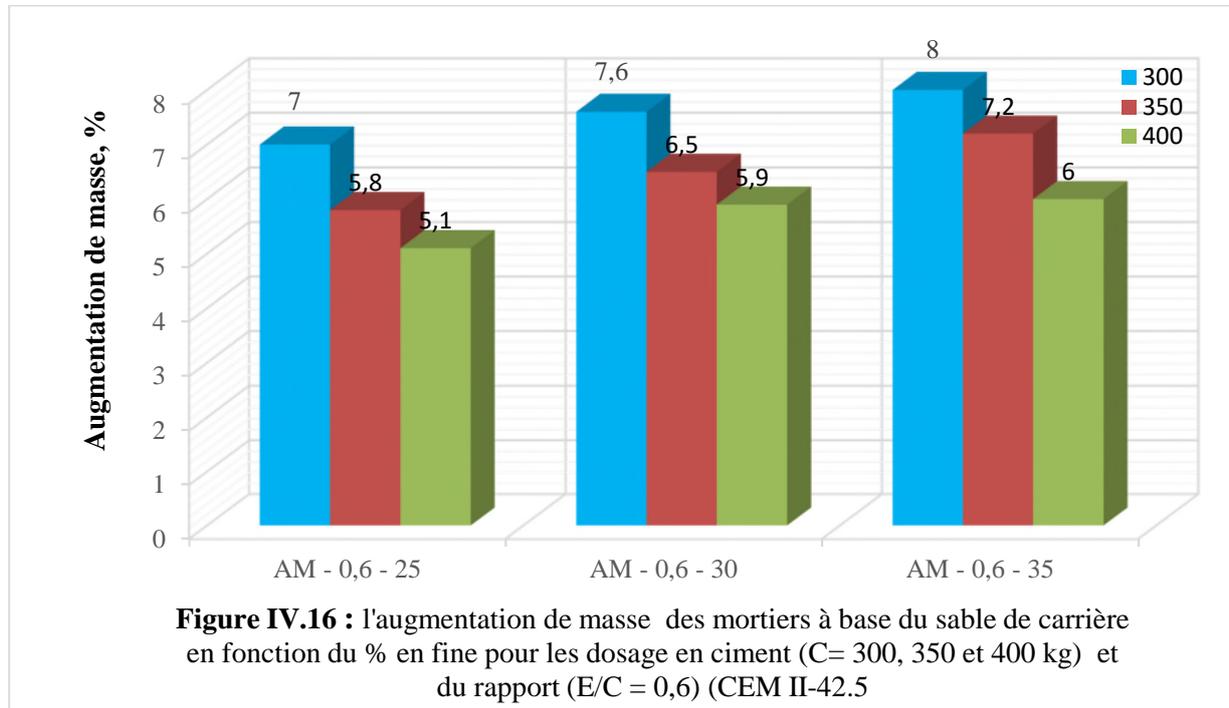
IV.3.7/ Les augmentations de masse :

Le figure **IV.16** présent les résultats de l'augmentation de la masse des mortiers à base sable de carrière dans l'eau en fonction des dosages de ciment $C = (300-350-400) \text{ kg/m}^3$ et pour le des différents pourcentages de fines calcaires (25 %,30 % ,35 %).

On remarque :

- L'augmentation de la dose de ciment diminue l'augmentation de masse dans les mortiers à base de sable de carrière.

- On remarque aussi l'augmentation de masse dans les mortiers à base sable de carrière augmente en fonction de l'augmentation de pourcentage des fines calcaires.



IV.3.8/ Le retrait et gonflement :

IV.3.8.1/ Le retrait :

Le figure IV.17 présent les résultats des retraits dans le temps des mortiers à base sable de carrière (durcissement l'air) en fonction de pourcentage de fines calcaires (25 %,30 % ,35 %).pour le rapport E/C=0,6 et pour un dosage de ciment C = (350) kg/m³, on remarque que :

- Le retrait du mortier augmente par rapport à l'augmentation de pourcentage des fines calcaires.

IV.3.8.1/ Gonflement :

Le figure IV.18 présent les résultats du gonflement dans le temps des mortiers à base sable de carrière (durcissement l'eau) en fonction pourcentage de pourcentage fines calcaires (25 %,30 % ,35 %).pour le rapport E/C=0,6 et pour un dosage de ciment C = (350) kg/m³, on remarque que :

- Le gonflement du mortier diminue par rapport à l'augmentation de pourcentage des fines calcaires.

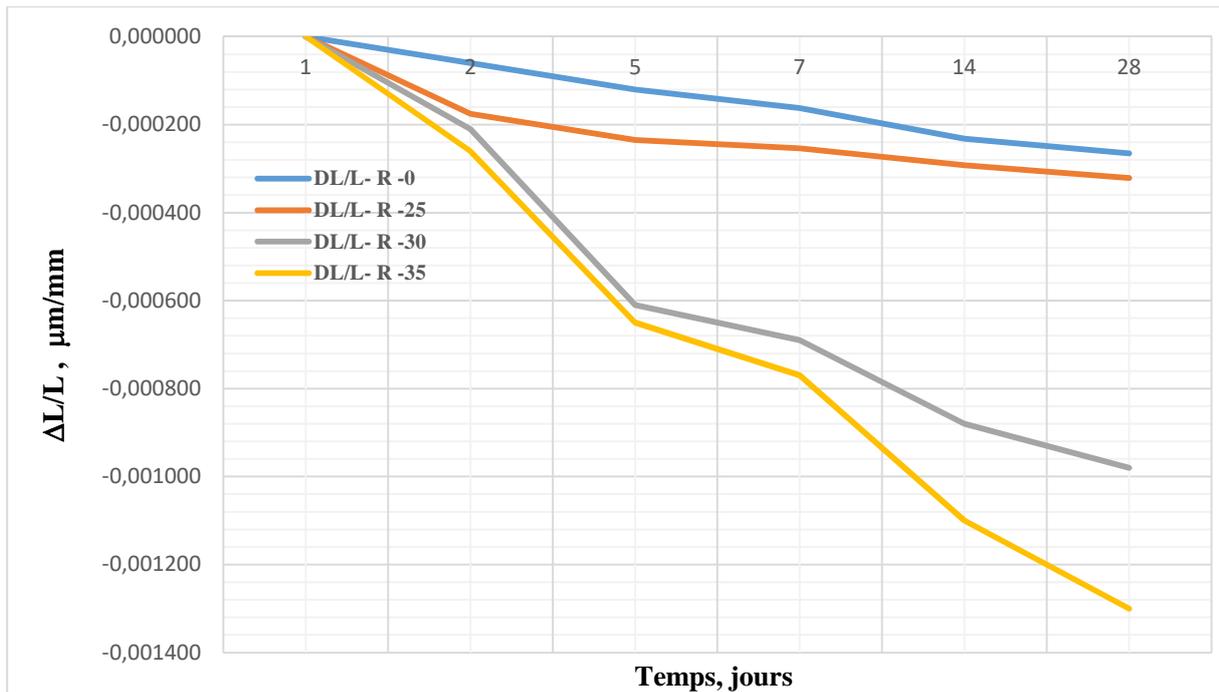


Figure IV.17 : Evolution du retrait dans le temps des mortiers (durcissement à l'air) à base du sable de carrière en fonction en % en fine pour un rapport E/C = 0,6 et un dosage en ciment C = 350 kg (CEM II-42.5)

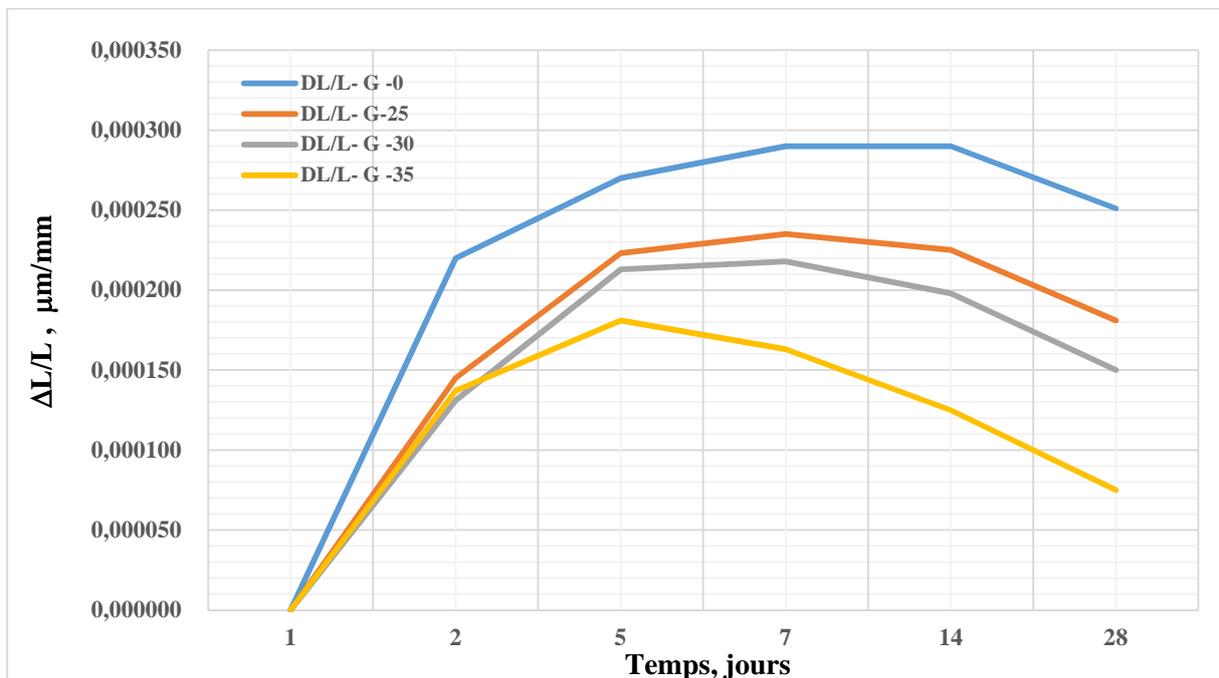


Figure IV.18 : Evolution du gonflement dans le temps des mortiers (durcissement à l'eau) à base du sable de carrière en fonction en % en fine pour un rapport E/C = 0,6 et un dosage en ciment C = 350 kg (CEM II-42.5)

IV.4/ Influence des fines calcaires sur le comportement mécaniques :

L'étude de l'influence des fines calcaires de 5% à 25%, sur le comportement mécanique et rhéologique des mortiers à base du sable de carrière, a été réalisée à l'université de Biskra par HASNAOUI Imane en 2016. [21]

Ce travail a pour objectif l'étude de l'influence de taux élevés des fines calcaires de 25% à 35% sur le comportement mécanique et rhéologique des mortiers à base de sable de carrière

D'après les résultats des tests, sur le comportement mécanique et rhéologique des mortiers à base de sable de carrière, présenté dans la figure **IV.19**, On remarque :

- le mortier avec des fines calcaires a des meilleures valeurs dans les résistances mécaniques par rapport aux mortiers sans fines calcaires 0 %, Sauf pour les deux cas de 5% et 35% des fines calcaires, où il y a remarqué une diminution.
- Le mortier avec 10 % des fines calcaires présente les meilleurs

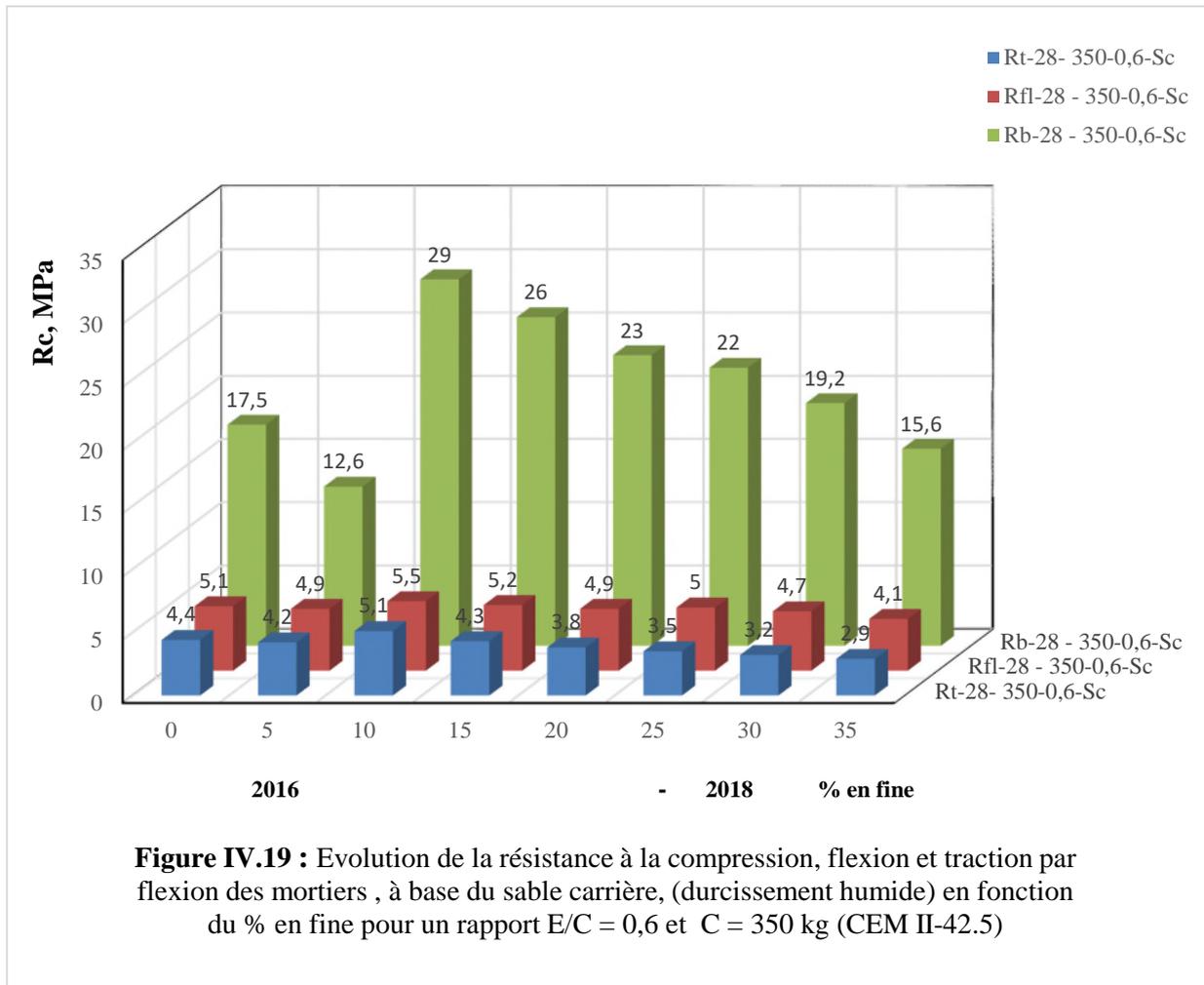


Figure IV.19 : Evolution de la résistance à la compression, flexion et traction par flexion des mortiers , à base du sable carrière, (durcissement humide) en fonction du % en fine pour un rapport E/C = 0,6 et C = 350 kg (CEM II-42.5)

IV.5/ Conclusion :

- Le rapport $E/C = 0.7$ présente des meilleures résistances mécaniques les mortiers de sable de carrière par rapport $E/C = 0.6$.
- Les résistances mécaniques des mortiers de sable de carrière et supérieures pour le dosage de ciment $C = 400 \text{ kg/m}^3$, par a rapport autres dosages (300, 350), à 7, 14,28 et 45jours.
- Les résistances mécaniques des mortiers de sable de carrière avec pourcentage 25 % de fines calcaires ont les meilleurs résultats que les pourcentages (30 % ,35 %), à 7, 14,28 et 45jours.
- La résistance à la compression est plus importante que celle de la traction et la flexion pour tous types de mortier.
- les résistances mécaniques des mortiers avec adjuvant ont plus importants que les résistances mécaniques que les mortiers sans l'adjuvant fluidifiant.
- l'ouvrabilité des mortiers diminue avec l'augmentation de pourcentage des fines calcaires (0%,25%,30%,35%), pour un dosage de ciment 350 kg et un rapport $E/C = 0.6$
- l'ouvrabilité des mortiers augmente avec l'utilisation d'adjuvant fluidifiant (super plastifiant d'un dosage de 1 %.
- l'absorption d'eau diminue de l'augmentation du pourcentage en fines calcaires, dosages en ciment du rapport E/C .
- En comparant les rapports $E/C = 0.7$ et $E/C = 0.6$ on a remarqué que le premier absorbe plus d'eau.
- l'augmentation de la dose de ciment diminue la perte de masse des mortiers à base de sable de carrière.
- La perte de masse dans les mortiers à base sable de carrière augmente en fonction l'augmentation du pourcentage en fines calcaires.
- Le retrait du mortier augmente par rapport à l'augmentation de pourcentage des fines calcaires.
- Le gonflement du mortier diminue par rapport à l'augmentation de pourcentage des fines calcaires.



CONCLUSION GENERALE



CONCLUSION GENERALE

L'objectif de notre étude est d'évaluer expérimentalement l'influence de taux élève de fines calcaires de sables des carrières sur le comportement physico-mécanique et rhéologique des mortiers.

Pour atteindre cet objectif, l'étude est organisée en quatre chapitres :

Les chapitres **I** et **II** : concernant la recherche bibliographique qui nous a permis de fournir le contexte scientifique et technique pour notre travail.

Les chapitres **III** et **IV** : concernant l'étude expérimentalement elle est divisée en deux chapitres.

Le chapitre **III** : a fait le point sur les caractéristiques des matériaux utilisés et les méthodes d'essai.

Le chapitre **IV** : est la partie de présentation des résultats qui permis d'avoir des informations réelles sur la résistance mécanique et l'ouvrabilité du mortier.

On utilisé la méthode de substitution partielle des sable carrières par les fines de calcaire. Nous avons obtenu les éléments fins après l'opération de criblage du sable de carrière de la région d'El-hajeb, nous avons utilisé trois dosage du ciment avec deux rapport E/C =0,6-0,7) et adjuvant.

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

- ❖ La résistance mécanique augmente en fonction de l'augmentation des dosages des ciments pour les mortiers à base de sable de carrière.
- ❖ La résistance mécanique qui le rapport E/C =0.7 présente des meilleures résistances par rapport E/C=0,6. Dans mortiers de sable de carrière.
- ❖ Les résistances mécanique des mortiers de sable de carrière sont avec substituant 25 % des fines calcaires ont donné les meilleurs résultats que les autres pourcentages (30 % ,35 %), à 7, 14,28 et 45 jours.
- ❖ Les résistances mécanique des mortiers de sable de carrière avec adjuvant ont plus importantes par rapport aux mortiers sans adjuvant.

- ❖ l'ouvrabilité des mortiers diminue en fonction l'augmentation de pourcentage des fines calcaires (0%,25%,30%,35%), pour un dosage de ciment 350 kg avec rapport $E/C = 0,6$
- ❖ l'absorption d'eau diminue par rapport à l'augmentation du pourcentage de fines calcaires.
- ❖ l'absorption d'eau augmente par rapport $E/C = 0,7$ par rapport au mortier avec $E/C = 0,6$.
- ❖ la perte de masse augmente par rapport la substitution de fines calcaire (25%,30%,35%).
- ❖ les augmentations de masse augmentent par rapport la substitution de fines calcaire (25%,30%,35%).
- ❖ Le retrait du mortier augmente par rapport à l'augmentation de pourcentage des fines calcaires.
- ❖ Le gonflement du mortier diminue par rapport à l'augmentation de pourcentage des fines calcaires.



BIBLIOGRAPHIE



- [1] **SADHOUARI, F., GOUFI, N., & GUEZZOULI, A.** Valorisation de l'utilisation des sables concassés par analyse des propriétés des mortiers et des bétons. SBEIDCO–1st. In : International conference on sustainable built environment infrastructures in developing countries, ENSET Oran (Algeria). 2009. p. 247-54.
- [2] **Dreux et Festa-J (1998)** Nouveau guide du béton et de ses constituants - huitième édition Eyrolles. Paris.
- [3] **Cimbéton. (2005)** Les constituants des bétons et des mortiers. **Tome 1**, chapitre 1. Paris. Disponible sur : <http://www.infociments.fr/telecharger/CT-G10.pdf>
- [4] **Philippe Souchu (2009)** : La fabrication du ciment courant 7 juin 2009 Site documentaire de lerm : <http://doc.lerm.fr/la-fabrication-du-ciment-courant/>
- [5] **BELHOCINE AIDA -NAGOUDI NADJAT (2014)** : Etude expérimentale d'un mortier avec ajouts minéraux.
- [6] **George Dreux. (1981)** Nouveau guide du béton ,3-ème édition. Edition Eyrolles. Paris.
- [7] **Véronique Baroghel-Bouny. (2010)** Caractérisation microstructurale et hydrique des pâtes de ciment et des bétons ordinaires et à très hautes Performances.
- [8] **Le clinker et le ciment** : fabrication et prise disponible sur :
https://www.geocaching.com/geocache/GC7GVJA_lvb-vtt-30-le-ciment?guid=da88781d-66ff-4b5b-86d6-4a5d21196b8d
- [9] **J. Baron, J.P. Ollivier et J.C. Weiss (1999)** « Les bétons, bases et données pour leur formulation », Edition Eyrolles, Troisième tirage, P 3-12
- [10] **Gunning.j.G. (1983)** Technologie du béton : niveau 4 Longman technicien sérient constat : génie civil, Angleterre.
- [11] **V. PHOUMMAVONG** Matériaux de construction : Cours en ligne : Université Nationale du Laos : <http://www.la.refer.org/materiaux/default.html,2009>.
- [12] **Barakat A.** cour matériaux de carrière et de construction disponible sur :
www.fstbm.ac.ma/newfstv08/support/cours_matx.pdf

[13] **Touzouti Kamilia. (2012)** Introduction aux nano ciments et nano béton, mémoire de magistère université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

[14] Principe de la méthode Blaine :

<http://www.thecementgrindingoffice.com/fr/calculators/blaine3/blaine3.htm>

[15] **AMOURI, C. (2009)** Contribution à l'étude de l'influence des différents ajouts sur les propriétés des matrices cimentaires (Caractérisation, Performances, Durabilité), 2009, Thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine.

[16] **Véronique Baroghel-Bouny (2010)** Caractérisation microstructurale et hydrique des pâtes de Ciment et des bétons ordinaires et à très hautes Performances.

[17] **OLLIVIER, J-P, VICHOT, A. (2007)** "La Durabilité des Béton" Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées ; 840 p

[18] **Miche Adam. (1985)** Guide pratique pour l'emploi des ciments. Édition Eyrolles. Paris.

[19] **JOACHIM MONGE. (2007)** Fissuration des Mortiers en Couches Minces - Effets de l'Hydratation, du Séchage et de la Carbonatation DOCTEUR DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE DE CACHAN.,

[20] **LAKHDARI Selma. (2015)** EFFETS DES ADJUVANTS FLUIDIFIANTS SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-MECANQUES ET RHEOLOGIQUES DES MORTIERS A BASE DES SABLES DES CARRIERES.

[21] **HASNAOUI Imane (2016)** Influence des taux élevés des fines calcaires sur le comportement mécaniques et rhéologiques des mortiers à base du sable de carrière.

[22] **Taalah Bachir (2006)** formulation et caractéristique des bétons en climat chaud Mémoire de magister. Université Mohamed Khaider. Département de génie civil. Biskra.

[23] **M. GHOMARI F. & Mme BENDI-OUIS A (2008)** SCIENCE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION Travaux pratiques, UNIVERSITE ABOUBEKR BELKAID

[24] **BEDERINA.M (2000)** « caractéristiques mécaniques et micro structure de béton de sable » mémoire de magistère université de Laghwat.

[25] **SABLOCRETE (1994)** « Béton de sable » Pressent de l'école nationale des ponts et Chaussées, Paris, France.

[26] **BOUNEDJEMA Yassine (2017)** Evaluation des modifications mécaniques Et rhéologiques apportées par le sable de concassage aux mortiers et bétons.

[27] **Zitouni (1995)** influence de la caractéristique des gravies sur la qualité de béton1995.18z.

[28] **Thomas Point (2014)**. Influence des hydroxypylguars sur les propriétés du mortier de ciment à l'état frais, Disponible sur :

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00936958/document>

[29] **Kennouche Salim (1993)** Cour matériaux de construction. L'adjuvant pour les bétons. Disponible sur :

<http://kennouche.e-monsite.com/medias/files/cours-adjuvants-ou-additifs-pour-les-betons.pdf>

[30] **MOHMED LYES KAMAL KHOUADJIA (2016)** Étude des propriétés physico-mécaniques et rhéologiques des bétons à base des sables de carrières : expérimentation et modélisation.

[31] **KADJILE Edouard (2010)** LES ENDUITS TRADITIONNELS : TECHNIQUES DE FABRICATION, MISE EN OEUVRE ET DURABILITE.

[32] **M. Nicot Pierre (2008)** Interactions mortier-support : éléments déterminants des performances et de l'adhérence d'un mortier, thèse de doctorat, université de Toulouse.

[33] **BALAPGOL, B., KULKARNI, S.A., & BAJORIA, K.M. (2002)** Strength and durability of concrete with Crushed Sand. In : 27th Conference on our world in concrete & structures. 2002. p. 179-189.7

[34] **GONÇALVES, J. P., TAVARES, L. M., TOLEDO FILHO, R. D., and al.** Comparison of natural and manufactured fine aggregates in cement mortars. Cement and Concrete Research, 2007, vol. 37, no 6, p. 924-932.

[35] **MENADI, B., KENAI, S., KHATIB, J., and al.** Strength and durability of concrete incorporating crushed limestone sand. Construction and Building Materials, 2009, vol. 23, no 2, p. 625-633.

[36] **G -Coquillât.R -Lesage (1984)** Bulletin of the International Association of Engineering Geology Vol. 30 – Issue 1

[37] **Anissa bissa et Badr Eddine. (2004)** Étude de la contribution des additions minérales aux propriétés physiques, mécaniques et de durabilité des mortiers, thèse de doctorat.

[38] **Rompaey G.V(2006)** Etude de réactivité des ciments riches en laitier à basse température et à temps court, sans ajout chloré 372pp, Bruxelles.

[39] **BARKAT Mohamed (2012)** Effets des additions minérales et adjuvants fluidifiants sur le comportement rhéologique des mortiers et bétons frais et durcis à base de sables des carrières.

[40] **CARDE, C.** rapport sur la pathologie- Le béton et l'eau, LERM : Laboratoire d'études et de recherches sur les matériaux, 2006, p, 1-2. ergy-pontoise.

[41] **HOUTI, F.B. et BELHACHEMI, B.** Etude expérimentale de l'agressivité de l'eau de mer sur les mortiers en ciment. 2012, p. 1-9.

[42] **BOUDCHICHA, A.** Utilisation des additions minérales et des adjuvants fluidifiants pour l'amélioration des propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons, 2007, Thèse de doctorat, Université Mentouri Constantine.

[43] **ESTEVEES, L. P., CACHIM, P. B., & FERREIRA, V. M.** Effect of fine aggregate on the rheology properties of high performance cement-silica systems. Construction and Building Materials, 2010, vol. 24, no 5, p. 640-649.

[44] **Edwige Nicolas (2010)** Compatibilitéet incompatibilité liants cimentaire/superplastifiants, Thèse de doctorat en chimie du solide, université du Luxembourg.

[45] **chergui .2009** étude de comparative des propriétés des sables et leurs effets sur la propriété des mortiers université de Médéa.

[46] **WESTERHOLM, M., GRAM, H. E., & LAGERBLAD, B.** Crushed rock as sand in concrete : The Swedish experience. In : 16th Annual ICAR Symposium. Austin, USA. May 12-14, 2008. 2008

[47] **AL-BAGHDADI, H.M., AL-AMEERI, A.S.** Using Different Types of Fine Aggregate To Produce High Strength Concrete, Université de Babylone Magazine des Sciences Appliqués, 2010, vol. 2, no 18, p. 713-724.

[48] **CABRERA, O. A., TRAVERSA, L. P., & ORTEGA, N. F.** Estado fresco de morteros y hormigones con arenas de machaqueo. *Materiales de construcción*, 2011, vol. 61, no 303, p. 401-416.

[49] **DIOP, M. B., LO, P. G., & BOUGUERRA, A.** Une nouvelle méthode d'élaboration d'un sable normal pour la classification des ciments axée sur les matériaux, 2001, *J. Sci.* Vol. 1, N° 1, p.1-8.

[50] **Iméne Joudi-bahri. (2012)** Influence des sables fileries calcaires sur les propriétés des bétons courants et super plastifiés, thèse de doctorat, université lorraine France.

[51] **N. BAKIR, A. ISSAAD, M. BEDDAR. (2009)** Influence du climat chaud et de la cure sur les propriétés du mortier. SBEIDCO – 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in developing Countries ENSET Oran (Alegria) - Octobre 12-14, 2009.

[52] **Thomas Point. (2014)** Influence des hydroxypylguars sur les propriétés du mortier de ciment à L'état frais 27 juin 2014. Disponible sur :

<https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00936958/document>

[53] **N. BAKIR, A. ISSAAD, M. BEDDAR** INFLUENCE DU CLIMAT CHAUD ET DE LA CURE SUR LES PROPRIÉTÉS DU MORTIER.

[54] **Neville AM.** Propriétés des bétons. Centre de Recherche Inter universitaire (CRIB), Edition Eyrolles, 2000 ; 806p.

Henry LE CHATELIER (1850-1936)

REFERENCES NORMATIVES

NF P15-301 (Juin 1994) Liants hydrauliques - Ciments courants - Composition, spécifications et critères de conformité.

NF EN 197-1 (Avril 2012) Ciment- composition spécifications et critère de conformité des ciments courants (indice de classement P 15-101-1).

NF EN 196-2 (août 1995) - la présente norme européenne fixe les modes opératoires pour effectuer l'analyse chimique des ciments

NF EN 196-3 (aout 1995). Méthodes d'essais des ciments – partie 3 : Détermination du temps de prise et de stabilité (indice de classement P 15-473).

NF EN 196-6 (aout 1990). Méthodes d'essais des ciments – partie 6 : Détermination de la finesse (indice de classement P 15-476).

NF P15-301 (déc.1981). Liant hydrauliques-vérification de la qualité des livraisons-emballage.

NF EN 1008 (juil.2003).Eau de gâchage pour béton-spécifications d'échantillonnage, d'essais et 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 p18-211).

NF P18-301 (Décembre 1983) Granulats. Granulats naturels pour bétons hydrauliques. La présente norme s'applique aux granulats naturels courants.

NFP 18-540 (oct.1997). Granulats- définition conformité spécification (indice de classement P 18-540).

NF EN 933-1 (déc. 1997). Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats- partie 1 : Détermination pour la granularité-Analyse granulométrique par tamisage (indice de classement P 18-622.1).

NFP 18-598 (oct 1991) Granulats Equivalent de sable.

NF P 18-554 (oct.1990). Granulats-mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption et de teneur en eau des gravillons et cailloux.

NFP18-555(oct.1990). Granulats-mesures des masses volumiques, du coefficient d'absorption et de teneur en eau des sables.

NF P18-934-2 (sep.2002). Adjuvant pour béton, mortier et coulis – adjuvant pour béton-
définition, exigences, conformité, marquage et étiquetage (indice de classement P 18-342).

EN 12-358 : Essai d'étalement à la table à secousse.

NFP 18-406 (déc.1981). Bétons- Essai de compression.

NF P 18-407 (déc.1981). Bétons- Essai de flexion.

NF P15-433 (Février 1994) Essai de retrait et de gonflement. Pour la mesure des variations de
longueur (retrait ou gonflement) sur éprouvettes. 4 x 4 x 16 et 7 x 7 x 28.



Annexe -1-



Notice technique
Edition juin 2017
Numéro 1.20
Version n°106. 2017
SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

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

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

Présentation SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique.

Domaines d'application

- SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- Dans les bétons autoplaçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.

Caractères généraux SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.



Agréments, essais de laboratoire ■ PV CNERIB : DTEM : 108/2017.

Caractéristiques

Aspect Liquide brun clair

Conditionnement

- Fûts de 230 kg
- CP de 1000 L
- Vrac

Stockage Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.

Conservation 1 an en emballage intact

Données techniques

densité 1,06 ± 0,01

pH 6 ± 1

Teneur en Na₂O Eq. ≤ 1 %

Extrait sec 30,2 ± 1,3 %

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



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

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

