

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

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



Mémoire de Magister

Présenté à l'Université de Guelma
Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénierie

Département de : Génie Civil

Option : Matériaux et structures

Par : Bechiri Farouk

Thème : Effet de la nature du sable sur les propriétés des mortiers

Sous la direction de : **Dr. Benouis Abdelhalim**

JURY

Pr : Guenfoud Mohamed	Université de Guelma	Président
Dr : Benouis Abdelhalim	Université de Guelma	Rapporteur
Dr : Cherait Yacine	Université de Guelma	Examineur
Dr : Guetteche Mohamed Nacer	Université de Constantine	Examineur
Dr : Oucief Hocine	Université de Annaba	Examineur

DEDICACE

Je Dédie Ce Mémoire À :

- Ma Mere

- Mon Frère Youssef Et Ma Sœur Salima

- Ma Femme Wahiba

- Mes Enfants : Meriem Yacine Et Abderahmane

REMERCIEMENTS

Dieu merci pour le pouvoir dont m'avez fait part; pour terminer ce modeste travail avec succès.

Ce travail a été réalisé au sein du département de génie civil de l'université 08 mai 1945 GUELMA.

Je tiens à exprimer en premier toute ma reconnaissance à monsieur **BENOUIS A.HALIM** pour avoir accepté d'être mon promoteur et pour l'aide considérable qu'il m'a apportée afin de réaliser ce travail de recherche; pour ces conseils enrichissants, ces orientations pertinents, et sa patience.

Je remercie également monsieur le chef de département de génie civil; monsieur **BENMARCE** et tous les enseignants du département de génie civil et les techniciens et technicienne de laboratoire pédagogique.

Merci aussi au professeur **GUENFOUD MOHAMED** de m'avoir accueilli dans son laboratoire et de m'avoir donné la chance de travailler avec l'équipe de recherche de matériaux.

J'exprime mes sincères remerciements à Monsieur **NOUAOURIA MED SALAH** pour la qualité de leurs discussions scientifiques et leurs conseils utiles.

Mes remerciements s'adressent ensuite à messieurs les enseignants de l'université de Guelma :

- **PR : BENMALEK**
- **Dr:NAFAA ZAHREDINNE**
- **Dr:CHERAIT YACINE**
- **Dr : MANSOURI RACHID**
- **Mr : ACHOUCH DAJAMEL**

Je remercie l'ensemble de mes amis de la promotion 07-08 pour les moments partagés au laboratoire.

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

Comme j'adresse aussi mes remerciements à:

DJAMEL LAOUAOUA; CHERIF GUERGUAH KAMEL FERHANI, MONCEF OUMADOUR, TABA MED BACHIRI, et tous les amis

Je voudrais aussi remercier ma famille pour son soutien, sa patience, et sa compréhension dans les moments les plus difficiles de cette expédition.

ملخص

إن تطور قطاع البناء و الأشغال العمومية يتطلب استعمال كميات كبيرة من الحبيبات. حاليا تتزود ورشات البناء و مصانع البناء المسبق الصنع بالرمل من شواطئ البحار و من المحاجر بكميات قليلة.

أن استغلال هذه المصادر بدأ يفرض مشاكل عويصة على البيئة و أثرها على الترتيبات القانونية.

يقدم هذا العمل نتائج الخصائص الميكانيكية للملاط بمكونات من رمل مختلفة المصادر ، الرمل المستعمل (الكلس السليكا).

عند هذه الدراسة قمنا بتحضير خمسة أنواع من الملاط بمختلف أنواع الرمل (3 ملاط بواسطة الرمل المحجر للمنطقة قالمة – ملاط بالرمل من شاطئ البحر، ملاط برمل قياسي).

إن مقارنة النتائج لأنواع الملاط الخمسة، بينت إن الخصائص الميكانيكية متشابهة بالنسبة للملاط المكون من رمل المحاجر و للملاط من رمل شاطئ البحر فكانت النتائج ضعيفة.

لقد أجريت دراسات مقارنة لفقدان الكتلة و المقاومة المتبقية (انضغاط و شد) تحت درجة الحرارة محيطية و عالية ($200.400.600^{\circ}C$) لأنواع الملاط الخمسة. إذا كان تغير الكتلة يظهر متشابه فإن الخاصية الميكانيكية للملاط ذو رمل (siliceux) تظهر ضعيفة جدا.

كلمات مفتاح : الحبيبات – الرمل – المحاجر - الخصائص الميكانيكية- الملاط- الكلس-السليكا- فقدان الكتلة – المقاومة المتبقية.

Abstract

The development of industry and public works, involves the massive use of aggregates. Currently, sites and factories prefabrication sand supplies, mainly from the coastal dunes (sand) and a lesser proportion of crushed rock mass. Resource farms are beginning to pose serious environmental problems and constraints of a regulatory

This paper presents the results of the mechanical characteristics of mortars based on different kinds of sand (calcareous, siliceous)

In short this study, we made five mortars based on different sands, three mortars based sand quarry area Guelma, a mortar base of sand and a mortar made of sand standardized.

The comparison of results of five mortars has shown that the mechanical properties were close to mortars based sand quarry. Mortars based on silica sand presented lower mechanical properties

Comparative studies of mass loss and residual strength (compression and traction) at ambient temperature and at high temperatures (200, 400 and 600 °C) of five mortars were made. If losses appear identical masses for the five mortars, the resistance of mortars made of silica sand is very low.

Key words: aggregates, mortars, sands, calcareous, siliceous, mechanical properties, of mass loss, residual strength, compression and traction.

Résumé

Le développement du secteur du bâtiment et des travaux publics, fait appel à l'utilisation massive des granulats. Actuellement les chantiers et les usines de préfabrication s'approvisionnent en sable, principalement à partir des dunes du littoral (sable de mer) et en moindre proportion des roches massives concassées. Les exploitations des ressources commencent à poser de sérieux problèmes environnementaux ainsi que des contraintes d'ordre réglementaire.

Ce travail présente les résultats des caractérisations mécaniques des mortiers à base de sables de différentes natures (calcaires, siliceux).

Au court de cette étude, on a formulé cinq mortiers à base de différents sables ; trois mortiers à base de sable de carrière de la région de Guelma, un mortier à base de sable de mer; et un mortier à base de sable normalisé.

La confrontation des résultats des cinq mortiers a montré que les propriétés mécaniques étaient proches pour les mortiers à base de sable de carrière. Les mortiers à base de sable siliceux ont présenté des propriétés mécaniques plus faibles.

Des études comparatives des pertes de masse et des résistances résiduelles (compression et traction) à l'ambiance et aux hautes températures (200, 400 et 600°C) des cinq mortiers ont été effectuées. Si les pertes des masses semblent identiques pour les cinq mortiers, les résistances des mortiers à base de sable siliceux sont très faibles.

Mots clés : granulats - caractéristique mécanique - sable (calcaire siliceux) - mortier - propriétés mécaniques - perte de masse - résistance - compression - traction - température.

SOMMAIRE

<u>Présentation et l'objectif de l'étude</u>	1
1- Introduction	2
2-Objectif de l'étude	2
CHAPITRE I	
Synthèse bibliographique	
1-Définition et classification du mortier	4
2-Fonction de mortier	5
2-1-Introduction	5
3- Constituant du mortier	6
3-1-les liants	6
3-1-1-les ciments	6
3-2- Granulats fins (sable)	8
3-2-1-Définition	8
3-2-2-Caractéristiques de la roche d'où proviennent les granulats	8
3-2-3-production des granulats	9
3-2-4-Nature de gisement de roche	11
3-2-4-1-Notion de gisement	11
3-2-4-2-Diversité des gisements	11
3-2-4-3-Nature de gisement de la région de Guelma	11
4- Classification granulométrique des produits	12
4-1-Sable	12
4-1-1-Exigences normatives de sable	12
4-1-2-Natures et origine du sable	13
4-1-3-Caractéristique géométrique du sable	13
4-1-4-Exemple de granularité	14
4-1-5-Composition granulométrique des sables	14
4-1-6-Vide de sable	15
5- Les Caractéristiques Géométriques des granulats	15
5-1-Forme des granulats	15
5-2-Module de finesse	16
5-3-Coefficient d'aplatissement	17
5-4-Porosité	17
6-Propriétés mécaniques des granulats	17
6-1-Dureté	17
6-2-Impuretés dans les granulats	17
6-2-1-Impuretés organiques	17
6-2-2-Argiles et matériaux fins	17

6-2-3-Contamination par le sel	18
6-2-4-Elément prohibés	18
6-2-5-Réaction alcali - silice	18
7- Eau de gâchage	19
7-1- Définition	19
7-1- Caractéristiques de l'eau de gâchage	19
8- Composition du mortier de ciment	19
8-1-Quantité d'eau employé	19
9-Propriétés du mortier	20
9-1-Fluidité	20
9-2-Le pouvoir de retenir de l'eau	20
9-3-Résistance mécanique	20
10-le Retrait	21
10-1-Introduction	21
10-2-Phénomène du retrait	21
10-3-Nature du ciment portland hydraté et mécanisme du retrait	22
10-4-Effet de la teneur en ciment et en eau sur le retrait	23
10-5-Effet des Propriétés du ciment	24
10-6-Type et classification du granulat	24
10-7-Effet des adjuvants	25
10-8-Vitesse de Séchage	26
10-9- Comment limiter le retrait	26
10-10-Conclusion	26
<u>CHAPITRE II</u>	
<u>Caractérisations des matériaux</u>	
1-Introduction	28
2-Essais réalisés	28
2-1-Masse volumique	28
2-1-1-Masse volumique apparente	28
2-1-2-Masse volumique absolue	29
2-2-Mesure de la propreté de sable	29
2-3-Mesure de la teneur	30
2-3-1-Teneur en eau	31
2-4-Analyse granulométrique	31
3-Résultats	32
3-1-Sable	33
3-1-1-Sable littoral	33
3-1-2-Sables de carrières	33
3-1-3-Sable normalisé	33
3-1-4-Dénomination des sables.....	33
3-1-5-Caractéristiques physiques des sables utilisés	34
3-1-6 Analyse granulométrique.....	34

3-1-6-1-Analyse granulométrique du sable concassé «C1 »	35
3-1-6-2-Analyse granulométrique du sable concassé «C2 »	36
3-1-6-4-Analyse granulométrique du sable concassé «C3 »	38
3-1-6-5-Analyse granulométrique du sable littoral (mer)	40
3-1-6-6-Analyse granulométrique du sable normalisé.....	42
4- Conclusion	44
<u>CHAPITRE III</u>	
<u>Techniques expérimentales</u>	
1 - Introduction	46
2 - Méthodes Expérimentales	46
2-1-Principe	46
2-2-Paramètre d'essai	46
2-3-Préparation du mortier.....	47
2-3-1-Équipement utilisé pour la Préparation de mortier.....	47
2-3-2-Mode opératoire.....	47
2-3-3-Confection des éprouvettes.....	48
2-3-4-Conservation des éprouvettes.....	48
3-Description des essais expérimentaux employés	49
3-1-Mesure des résistances à la compression et à la traction	49
3-2-Mesure du retrait	51
<u>CHAPITRE IV</u>	
<u>Synthèse et interprétation des résultats</u>	
1-Introduction	53
2-Présentation et analyse des résultats expérimentaux	53
2-1 Résistance mécanique	53
2-1-1-Résistance à la traction	53
2-1-1-2-Conclusion.....	57
2-1-2-Résistance à la compression	57
2-1-2-1- Conclusion.....	61
2-2-Retrait	62
2-2-1-Les paramètres retenus.....	62
2-2-2-Les essais réalisés	62
2-2-3-Résultats et discussions	62
2-2-4-Conclusion.....	68
<u>CHAPITRE V</u>	
<u>Evolution de résistances aux hautes températures</u>	
<u>PARTIE -I</u>	
1-Introduction.....	70
2-Evolution des propriétés des bétons et des mortiers avec la température.	70
3-Variation des propriétés mécaniques avec la température.....	72
3-1-Résistances à la compression.....	72
3-2-Résistance à la traction	72
3-3-Influence de la nature des granulats	72

4-Effet de la température sur les différents constituants du béton	74
4-1-Effet de la température sur la pâte de ciment	74
4-2-Effet de la température sur les granulats.....	75
4-2-1-Dilatation thermique des granulats.....	76
4-3-Effets de la température sur la microstructure du béton	77
4-3-1-Dégradation de l'interface pâte granulats à haute Température....	77
5-Dégradations associées à l'action du feu.....	78
Partie -II	
1-Présentation du travail.....	79
2-Essais et composition du mortier.....	79
3-Résultats et discussions.....	81
3-1-Introduction.....	81
3-2-Pertes de masse de l'éprouvette	81
3-3-Résultats des essais	86
3-3-1-Evolution de la résistance relative à la traction aux hautes Températures.....	86
3-3-1-1-Evolution des résistances relatives de différents mortiers ...	89
3-3-1-2-Commentaire et analyse de la résistance à la traction	89
3-3-2-Evolution de la résistance relative à la compression aux hautes Températures	90
3-3-2-1-Evolution des résistances relatives de différents mortiers..	94
3-3-2-2-Commentaire et analyse de la résistance à la compression....	94
Conclusion générale	95
Bibliographie	99

Liste des tableaux

Tableau :II-1 : Dénomination des sables.....	33
Tableau :II-2 : Caractéristiques physiques.....	34
Tableau :II-3 : Analyse granulométrique du sable concassé N°1(C1)	35
Tableau :II-4 : Analyse granulométrique du sable concassé N°2(C2)	36
Tableau :II-5- Analyse granulométrique du sable concassé N°3(C3)	38
Tableau :II-6 : Analyse granulométrique du sable littoral (mer) (M)	40
Tableau :II-7 : Analyse granulométrique de sable référence (N)	42
Tableau :II-8 : module de finesse.....	44
Tableau :IV-1 : Résistance à la traction.....	53
Tableau :IV-2 : Résistance à la compression.....	57
Tableau :IV-3 : Essai réalisés du retrait.....	62
Tableau :IV-4 : Résultats du retrait E/C = 0.50	62
Tableau :IV-5: Résultats du retrait E/C = 0.55.....	63
Tableau :IV-6 : Résultats du retrait E/C = 0.60.....	63
Tableau :V-1 : Coefficient de dilatation thermique de quelques types de granulats..	76
Tableau :V-2 Composition de mortier.....	79
Tableau :V-3 : Variation de la masse d u mortier MC1.....	81
Tableau :V-4 : Variation de la masse du mortier MC2.....	82
Tableau :V-5 : Variation de la masse du mortier MC3.....	82
Tableau :V-6 : Variation de la masse du mortier MM.....	83
Tableau :V-7 : Variation de la masse du mortier M N.....	83

<i>Tableau :V-8 : Résultats de perte de masse de différents mortiers</i>	<i>84</i>
<i>Tableau :V-9 : Résistance à la traction à différentes températures.....</i>	<i>86</i>
<i>Tableau :V-10: Résistance résiduelle (MC1).....</i>	<i>86</i>
<i>Tableau :V-11: Résistance résiduelle (MC2).....</i>	<i>87</i>
<i>Tableau :V-12 : Résistance résiduelle (MC3).....</i>	<i>87</i>
<i>Tableau V-13 : Résultats de la résistance résiduelle (MM).....</i>	<i>88</i>
<i>Tableau :V-14 : Résultats de la résistance résiduelle (MN).....</i>	<i>88</i>
<i>Tableau :V-15 : Résistance à la compression à différentes températures.....</i>	<i>90</i>
<i>Tableau :V-16 : Résultats de la résistance en compression résiduelle MC1.....</i>	<i>90</i>
<i>Tableau :V-17 : Résultats de la résistance en compression résiduelle MC2.....</i>	<i>91</i>
<i>Tableau :V-18 : Résultats de la résistance en compression résiduelle MC3.....</i>	<i>92</i>
<i>Tableau :V-19 : Résultats de la résistance en compression résiduelle (MM).....</i>	<i>93</i>
<i>Tableau :V-20 : Résultats de la résistance en compression résiduelle MN.....</i>	<i>93</i>

LISTES DES FIGURES

<i>Figure I-1 : Fonction du mortier</i>	5
<i>Figure I-2 : Nature et origine du sable</i>	13
<i>Figure I-3 Exemple de granularité</i>	14
<i>Figure I-4:Phénomène de retrait</i>	14
<i>FigureII-1 : Appareillage de l'équivalent de sable</i>	30
<i>Figure II-2: tamiseuse électrique</i>	32
<i>Figure II-3: Courbe granulométrique de sable concassé C1</i>	35
<i>Figure II-4: Courbe granulométrique de sable concassé C2</i>	37
<i>Figure II-5: Courbe granulométrique de sable concassé C3</i>	39
<i>Figure II-6: Courbe granulométrique de sable littoral (mer)</i>	41
<i>Figure II-7: Courbe granulométrique de sable normalisé N</i>	42
<i>Figure II-8 : Courbe granulométriques des 5 sables</i>	43
<i>photo III- 1: Balance électronique</i>	47
<i>photo III-2 : Malaxeur électrique</i>	47
<i>photo III-3 : Moule métallique</i>	47
<i>photo III-4 : Bac d'eau pour conservation</i>	48
<i>photo III-5 : Eprovettes des mortiers</i>	48
<i>photo III-6 : Machine d'essai</i>	49
<i>photoIII- 7: Dispositif de l'essai à la traction</i>	49
<i>photo III-8 : Dispositif à la compression</i>	49
<i>Figure III-1 : essai de résistance à la flexion.</i>	50

Figure III--2 : Dispositif de rupture en compression.....	50
Photo III-9 : Extensomètre.....	51
Photo III - 10 : Eprouvettes avec plots.....	51
Figure IV-1 : Evolution de la résistance à la traction (MC1).....	54
Figure IV-2 : évolution de la résistance à la traction (MC2)	54
Figure IV-3 : Evolution de la résistance à la traction (MC3)	55
Figure IV-4 : Evolution de la résistance à la traction (MM)	55
Figure IV-5 : Evolution de la résistance à la traction.(MN).....	56
Figure IV-6 : Comparaison de la résistance à la traction des différents mortiers.....	56
Figure IV-7 : Evolution de la résistance a la compression (MC1)	58
Figure IV-8 - Evolution de la résistance à la compression (MC2)	58
Figure IV-9 - Evolution de la résistance à la compression (MC3)	59
Figure IV-10 - Evolution de la résistance à la compression (MM)	59
Figure IV-11 - Evolution de la résistance à la compression (MN)	60
Figure IV-12 : Comparaison de la résistance à la compression des différents mortiers	60
Figure IV-13 : Résultats de retrait de mortier MC1.....	64
Figure IV-14 : Résultats de retrait de mortier MC2.....	64
Figure IV-15 : Résultats de retrait de mortier MC3	65
Figure IV-16 : Résultats de retrait de mortier MM	65
Figure IV-17 : Résultats de retrait de mortier MN	66
Figure IV-18 : Evolution de retrait de différents mortiers E/C= 0.50	66
Figure IV-19 : Evolution de retrait de différents mortiers E/C= 0.55	67
Figure IV-20 : Evolution de retrait de différents mortiers E/C= 0.60	67

FigureV-1: <i>perte de masse de deux types de granulats (calcaire et siliceux) d'après harmathy et allen [harm-1973].</i>	75
FigureV-2: <i>perte de masse des bétons de différents types granulats en Fonction de la température d'après Schneider [schn-1982]</i>	77
FigureV-3 : <i>Evolution des caractéristiques thermo mécaniques</i>	78
FigureV-4 : <i>Evolution de la résistance résiduelle (MC1)</i>	86
FigureV-5: <i>Evolution de la résistance résiduelle (MC2)</i>	87
FigureV-6 : <i>Evolution de la résistance résiduelle (MC3)</i>	87
FigureV-7: <i>Evolution de la résistance résiduelle (MM)</i>	88
FigureV-8: <i>Evolution de la résistance résiduelle (MN)</i>	88
FigureV-9: <i>Evolution de la résistance résiduelle à différents mortiers</i>	93
FigureV-10: <i>Evolution de la résistance résiduelle (MC1)</i>	91
FigureV-11 : <i>Evolution de la résistance résiduelle (MC2)</i>	91
FigureV-12 : <i>Evolution de la résistance résiduelle (MC3)</i>	92
FigureV-13: <i>Evolution de la résistance des tris mortiers (MC1; MC2; MC3)</i>	91
FigureV-14 : <i>Evolution de la résistance résiduelle (MM)</i>	93
FigureV-15: <i>Evolution de la résistance résiduelle (MN)</i>	93
FigureV-16: <i>Evolution des résistances résiduelle à la compression des différents mortiers</i>	94

I- Introduction

Au cours des dernières années ; la localisation des granulats appropriés à la fabrication des mortiers est devenue de plus en plus problématique, à tel point que pour des raisons économiques et environnementales on a de plus en plus recours à l'utilisation des granulats concassés. En plus les granulats siliceux ; susceptibles de manifester une réaction expansive de type alcali - silice, figurent parmi les granulats de moindre qualité

Le mortier est un matériau composite hétérogène et qui a comme constituant essentiel le granulat fin (*sable*). A l'échelle macroscopique ; il a une structure composée de pâte de ciment, d'agrégats de différentes tailles et formes, de pores, de micro fissures et d'une zone transition interrassiale localisée autour des agrégats.

Le comportement mécanique des mortiers dépend fortement de sa microstructure, de la qualité de l'interface matrice granulats et à la fois de la taille, de l'orientation et de la densité des préexistants.

Des travaux ont été publiés sur le comportement en traction et en compression des matériaux à matrice cimentaire. La résistance à la traction est le plus souvent obtenue à partir des essais de flexion en trois points alors que la résistance à la compression est obtenue à partir des six parties des éprouvettes de l'essai de traction.

Dans ce cadre, nous nous sommes particulièrement intéressés à mesurer les résistances à la traction et à la compression des mortiers de compositions différentes (*E/C, nature de sable*) afin de mettre en évidence l'influence de la nature du sable sur les propriétés principales du mortier à l'état d'ambient qu'à l'état des hautes températures.

II- Objectif et présentation l'étude

L'objectif du présent travail se veut une étude comparative des propriétés des mortiers à base de sable de différente nature (carrière, littoral, normalisé) à une température d'ambiance et à haute température.

Le mémoire est scindé en cinq chapitres :

Le chapitre I présente une synthèse bibliographique sur le mortier ; plus particulièrement sur son composant de base : granulat fin " sable"; les différentes origines; les fondements essentielles des formulations; ainsi que les propriétés du mortier de ciment.

Le chapitre II présente les résultats d'une série d'essais expérimentaux de caractérisation mécanique et physique des matériaux utilisés et le mode de leur détermination.

Le chapitre III est scindé en deux parties:

Une première partie expérimentale présentant les résultats d'une série de mesure de résistance à la traction et à la compression des mortiers.

Une deuxième partie consiste à comparer le retrait jusqu'à 120 jours.

Le chapitre IV présente une synthèse et une analyse des résultats expérimentaux réalisés ; diverses influences ont été étudiées sur les propriétés des mortiers.

Le chapitre V est scindé en deux parties:

Une première partie présente une étude bibliographique sur l'effet des hautes températures sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons.

Une deuxième partie consiste à présenter l'étude expérimentale réalisée sur l'évolution des résistances mécaniques, avec la température, des différents mortiers (trois sables de carrières : wilaya de Guelma, un sable du littoral de la région de Skikda et le sable normalisé).

Le travail est finalisé par une conclusion comportant les principaux résultats acquis, ainsi que les recommandations et les perspectives de cette étude.

Chapitre I

Analyse bibliographique

1 - Définition et classification du mortier

Le mortier est un mélange durci d'un liant, d'un granulat fin (*sable*) et d'eau. Les constituants principaux, les mortiers peuvent contenir en pourcentage généralement faible, des additifs ou des ajouts destinés à améliorer certaines de leurs propriétés

Parmi la grande variété des mortiers, certains d'entre eux ont beaucoup de propriétés en commun ceci permet de subdiviser tous les mortiers en groupes, à base de cette classification on retrouve les indices principaux suivant [kom-1978]

- Masse volumique
- Nature du liant
- Destination

Suivant la masse volumique on distingue :

- Mortiers lourds a masse volumique supérieure ou égale 1500 kg/m^3
- Mortiers légers à masse volumique inférieure à 1500 kg/m^3

Suivant la nature du liant on distingue :

- Mortier de ciment portland
- Mortier de chaux
- Mortier bâtard.

Suivant les propriétés physiques et mécaniques on classe généralement les mortiers suivant deux indices

- Résistance mécanique
- Non- gélivité [kom-1978]

2 - Fonction du mortier

2-1-Introduction

Le Mortier remplit un certain nombre de fonctions :

- Il colle les briques afin de fournir de la stabilité et de la solidité.
- Il compense les irrégularités entre les unités, le niveau et l'aplomb des murs.
- Il comble les lacunes de résister à la pénétration de la pluie ou du vent.
- Il contribue aussi à l'esthétique de la paroi.

Le mortier doit avoir :

- Une bonne ouvrabilité,
- Suffisamment de capacité pour accueillir à long terme le mouvement thermique de la maçonnerie,
- Un lien adéquat avec le support,
- Bonne résistance à la pénétration de l'eau.



Trois fonctions importantes

Mélange sur place

Mortier prêt à l'emploi

Figure I-1 :Fonction du mortier

3- Constituants du mortier

3- 1-les liants

Ils peuvent être du ciment, de la chaux ou un divers mélange de ces matériaux.

3-1-1-les ciments

Les ciments sont des poudres fines obtenues par cuisson à haute température et broyage d'un mélange minéral constitué de calcaire et d'argile (en général)

Ces poudres constituées de sels minéraux anhydres instables (en particulier les silicates de chaux) forment avec l'eau une pâte capable par "hydratation" de faire prise et de durcir progressivement, cette pâte conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau, d'où le nom de liant hydraulique [Dreux-1979].

- **Types de ciments** Les quatre types de ciment est :

- **Ciment portland**

- Ciment portland artificiel (CPA) : constitué au moins de 95 % de clinker.

- Ciment portland composé (CPJ) : constitué au moins de 65% de clinker, le reste étant l'un ou plusieurs de constituants secondaires suivant : laitier, pouzzolane, cendre, filler [Dreux-1979].

Actuellement le ciment le plus utilisé est le CPJ

-**Présentation du ciment portland composé** : Le ciment CPJ-CEM II/A 42,5 est un ciment portland composé obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts. Du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse, en tant que régulateur de prise.

- **Spécifications** : Le ciment CPJ-CEM II/A 42,5 répond aux exigences de la norme NA 442 : 2000

-Caractéristiques physiques

- Date de début de prise mesuré sur pâte pure = 60 minutes

- Retrait à 28 jours d'âge sur mortier normal = 1000 $\mu\text{m}/\text{m}$

- Stabilité mesurée sur éprouvette de pâte pure = 10 mm.

-**Caractéristiques mécaniques** : la limite inférieure de la résistance à la compression à jeune âge (02 jours) est 20,0 N/mm^2 et les résistances à la compression font apparaître une valeur moyenne des résultats à 28 jours d'âge voisine de 42,5 N/mm^2 .

Les valeurs limites garanties sont

- = 18,0 N/mm² à 02 jours.
- = 40,0 N/mm² à 28 jours.

-Caractéristiques chimiques

- La teneur en sulfates (SO₃) dans le ciment = 4,0%
- La teneur en chlorures (Cl⁻) = 0,1%

- Ciment de haut fourneau (CHF)

Le ciment de haut fourneau est constitué d'un mélange de clinker et de laitier de haut fourneau granulé et broyé, Il existe trois classes de ciment de haut fourneau : CHF-CEM III/A, CHF-CEMIII/B, CLK-CEM III/C

- Ciment pouzzolanique

IL existe deux classes de ciment pouzzolanique

- la classe CPZ-CEM IV /A:dont le pourcentage en cendre ou pouzzolane est compris entre 10 et 35%
- la classe CPZ-CEM IV / B : dont le pourcentage en cendre ou pouzzolane est compris entre 36 et 55% [**Bar-1997**].

- Ciment au laitier et aux cendres

Les constituants de ce type de ciment autre que le clinker sont le laitier (le laitier est un sous produit de la sidérurgie (et la pouzzolane ou cendre volante (la Pouzzolane est un produit naturel d'origine volcanique, composé essentiellement de silice alumine et d'oxyde ferrique)

Il existe deux types:

- **CLS-CEM V/A**: dont le pourcentage de pouzzolane ou cendre volante entre 18 et 30%
- **CLS-CEM V /B** : dont le pourcentage du pouzzolane ou cendre volante est compris entre 31 et 55 % [**Bar-1997**].

3-2-Granulats fins (sables) :

Le granulats est un constituant essentiel du mortier ; qui conditionne les caractéristiques mécaniques et physiques.

3-2-1 Définition

Les granulats sont définis comme un ensemble de grains minéraux de dimension compris entre 0 et 125 mm destinés à la confection des mortiers, des bétons ...etc. On distingue :

- **les granulats naturels** issus de roches meubles ou massives in situ et ne subissant aucun traitement autre que mécaniques.

- **les granulats artificiels**, qui provient de la transformation mécanique des roches, de minerais de sous produits artificiels industriels, ou encore de la démolition d'ouvrage ou d'un bâtiment de divers béton.

Les granulats légers sont de produits dont la masse volumique réelle est inférieure à 2 t/m^3 , ce sont essentiellement des schistes, des laitiers, ou encore des pouzzolanes.

Les granulats courants ont des masses volumiques réelles supérieures ou égales à 2 t/m^3 .

3-2-2 Caractéristiques de la roche d'où proviennent les granulats

Les granulats naturels sont issus des roches meubles ou massives. Ils sont caractérisés par leur composition minéralogique ; leur texture, leurs états d'altération, leur porosité, de ces caractéristiques dépendant les propriétés des granulats. [Bar-1997].

Les granulats doivent être chimiquement inertes, c'est-à-dire sans action sur les ciments et inaltérable à l'air, à l'eau et au gel.

En particulier, si on emploie du ciment alumineux, le granulats doit être exempt d'élément alcalin susceptible de réagir sur le liant, en effet, les granulats non inertes peuvent réagir avec le liant provoquant parfois des dégradations importantes (alcalis - réaction)

Il faut également éviter les roches tendres et friables et les roches poreuses.

Pour des applications spéciales telles que les constructions exposées à des températures élevées, il est impératif que les granulats soient indécomposables à

Ces températures et possèdent des coefficients de conductibilité thermiques et de dilatation très faible.

En générale, les bons matériaux sont les suivants :

- Calcaires durs,
- Granits,
- Le porphyre,
- Le quartzite,
- Les pierres volcaniques,
- Les galets et sables siliceux,
- Le laitier concassé de haut - fourneau.

Matériaux à éviter, ou à utiliser avec précaution :

- certains granits, qui ont tendance à se décomposer à l'eau en présence de gaz carbonique.
- les granits trop micacés, qui s'effritent,
- certains feldspaths et schistes qui se décomposent à l'air libre ou dans l'eau.
- le silix
- le gypse, trop tendre et altérant le ciment portland,
- les grés et les calcaires tendres, à cause de leur faible résistance et de leur gélivité.

3-2-3-Production des granulats

Les caractéristiques géométriques (granularité, forme) et de propriétés des granulats dépendent du processus d'élaboration dans les installations de traitement [Bar-1997].

La production de granulats à partir de roches meubles ou massives, nécessite les principales étapes suivantes :

- **Le décapage** : consiste à enlever les terres situées au dessous de la zone à exploiter.

- **L'extraction** : s'effectue dans des carrières, les techniques mise en œuvres dépendent du type de gisement.

- gisement de granulats alluvionnaire exploite en terrain sec (au moyen d'engins de terrassement) ou en site immergé (au moyen par exemple de drague)

- gisement compact de roches massives qui nécessite l'emploi d'explosion, l'abattage et la fragmentation des blocs

- **Le traitement** ; fait suite à l'extraction des matériaux, qui sont concassés et broyés au moyen des :

- Appareils travaillant par chocs
- Appareils travaillant par écrasement

Criblés au moyen de cribles vibrants pour obtenir des granulats de tailles différents, puis lavés afin d'éliminer les éléments de pollution et fines.

Les opérations de traitement permettent d'obtenir des granulats répondant à des spécifications précises quand à leurs caractéristiques géométriques et physiques par des usages particuliers

3-2-4-Nature du gisement de roche

3-2-4-1-Notion de gisement: On désigne sous les noms de gîtes ou gisements minéraux toute concentration naturelle dans le sol d'une substance minérale dont la teneur et le cubage sont tels qu'on puisse en envisager l'exploitation.

La notion de gisement est à la fois géologique et économique : géologique, par la nature des roches et leur situation dans le sous-sol ; économique, car son exploitation répond aux besoins économiques du pays

3-2-4-2-Diversité des gisements : véritable richesse nationale, la diversité géologique du sous-sol algérien permet d'obtenir, à partir de roches très différentes, une grande variété de granulats. C'est le cas des roches suivantes :

- **Sables et graviers alluvionnaires fluviatiles:** granulats siliceux ou silico-calcaires déposés par les cours d'eau.

- **Brèches de pentes et éboulis** de piémont provenant de l'érosion de parois dans les régions montagneuses.

- **Alluvions marines, anciennes alluvions fluviatiles** et littorales.

- **Roches sédimentaires consolidées**, telles que les calcaires ou les grès. Elles doivent être concassées pour donner des granulats.

- **Roches métamorphiques dures**, telles que les quartzites ou les gneiss.

3-2-4-3-Nature de gisement de la région de Guelma:

Les résultats d'une étude préliminaire basée sur les éléments d'information recueillis auprès des services, montrent que le gisement des roches destiné à l'exploitation des carrières est d'origine calcaire.

4-Classification granulométrique des produits

Les granulats sont classés en fonction de leur granularité déterminée par analyse granulométrique sur des tamis de contrôle à mailles carrées dans la série normalisée.

Ils sont désignés par d et D représente respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions de l'appellation commerciale des produits. Ils sont appelés d/D ou O/D lorsque d est inférieure à un millimètre

Les intervalles d/D et O/D sont également appelés classe granulaire [Bar-1997]

Famille de granulats

- Filler O/D ou $D \leq 2$ mm et contenant au moins 70 % de passant à 0.063
- Sable O/D ou $D \leq 6.3$ mm (ramenant à 4 mm pour le sable à béton (mortier).
- Sablons O/D ou $D \leq 1$ mm et contenant au moins 10 % de passant à 0.063.
- Gravillons d/D ou $d \geq 1$ mm et $D \leq 31.5$ mm.
- Cailloux d/D ou $d \geq 20$ et $D \leq 125$ mm.
- Graves O/D ou $D > 6.3$ mm

4-1-Sable

On appelle sable d'une manière générale, le mélange meuble de grains de 0(zéro) à 6.3 mm de provenance naturelle ou artificielle.

4-1-1- Exigences normatives de sable : Les sables sont caractérisés par :

- **Classe granulaire O/D :** elle est définie par deux dimension d'ouvertures de mailles carrées avec des conditions déterminées de tamisât et refus.

La dimension D, telle que définie dans la norme **NA1947**, doit être inférieure ou égale à 4 mm dans ce cas le refus sur le tamis D doit être compris entre 1% et 15% et le refus sur le tamis 1.58 D doit être nul.

- **La teneur en fines :** elle est définie comme le passant à **0.08 mm**, cette teneur doit être inférieure ou égale à 15%.

- **Le module de finesse :** le module de finesse "MF" est défini comme étant la somme des pourcentage ramenés à l'unité, des refus cumulés sur les tamis suivant:

0.16 - 0.316 - 0.63 - 1.25 - 2.5 - 5.00 mm

Le module de finesse "MF" doit être compris dans l'intervalle suivant **$1.8 \leq MF \leq 3.2$** .

- **Propreté** : elle est déterminée par la mesure de l'équivalent de sable à 10% de fines conformément à la norme NA456 ou par la valeur au bleu de méthylène mesurer tache selon la norme NA1948 la valeur spécifiée pour l'équivalent de sable à 10% de fines est la suivante: $PS=60$

Si le PS du sable est inférieure à la valeur spécifiée, il est recommande de faire l'essai au bleu de méthylène

La valeur spécifiée par la valeur au bleu de méthylène est la suivante $V_b \leq 1$.

- Matière organique :

La présence de matières organiques dans le sable de concassage est déterminée par l'essai au calorimétrique décrit dans la norme NA5017 leur quantité doit être en proportion suffisamment faible pour que la coloration obtenue soit moins foncée que celle de la solution témoin.

4-1-2-Nature et origine du sable

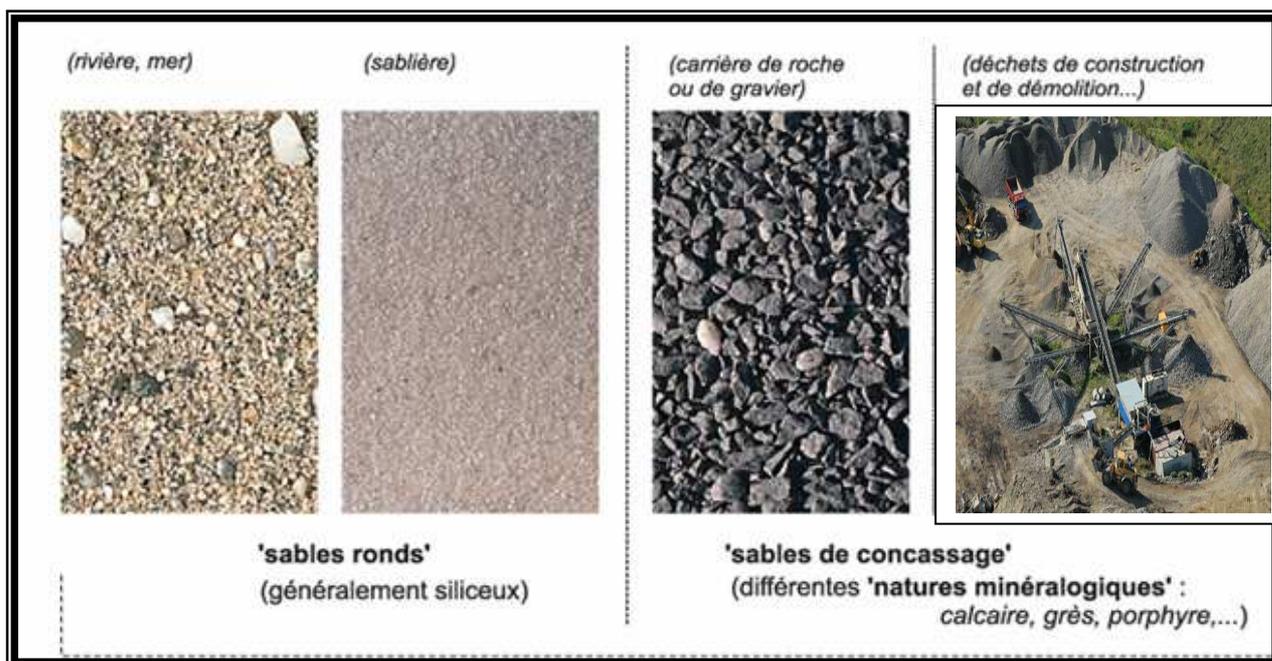
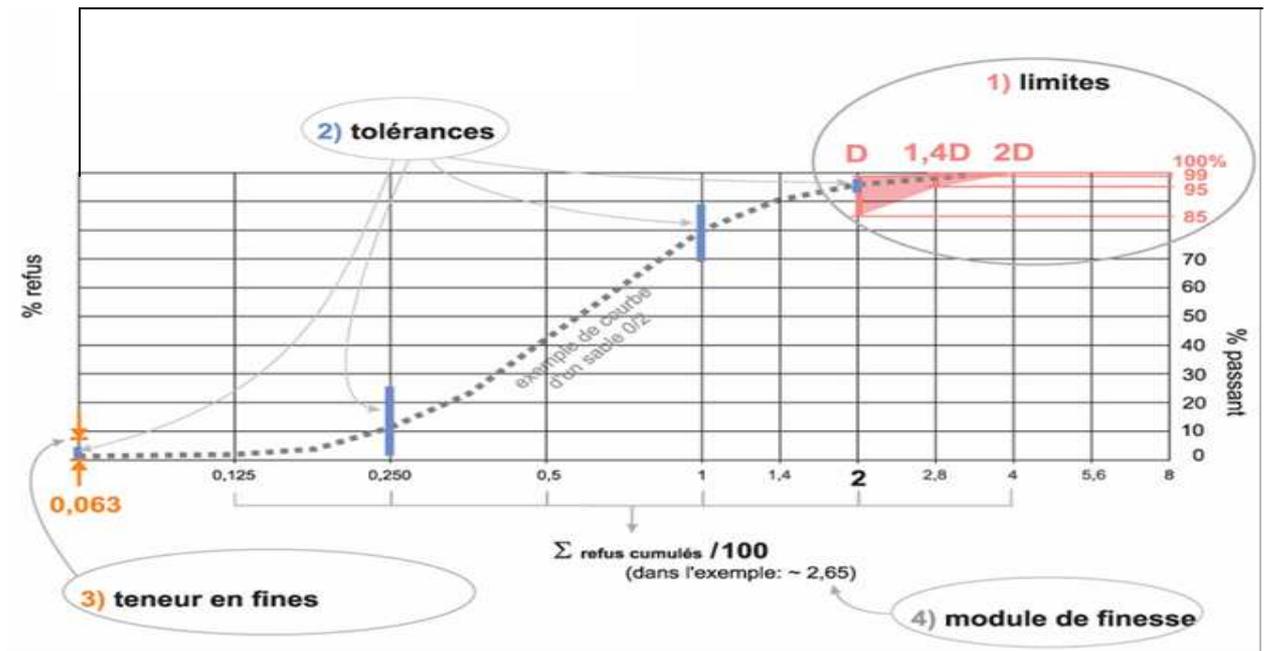


Figure I-2: nature et origine du sable

4-1-3 Caractéristique géométrique du sable

- Granularité :

- 0/1,0/2 ou 0/4
- Exigences demandées
 - 1) - Limites
 - 2) - Tolérances
 - 3) - Teneur en fines
 - 4) - Module de finesse



4-1-4-Exemple de granularité

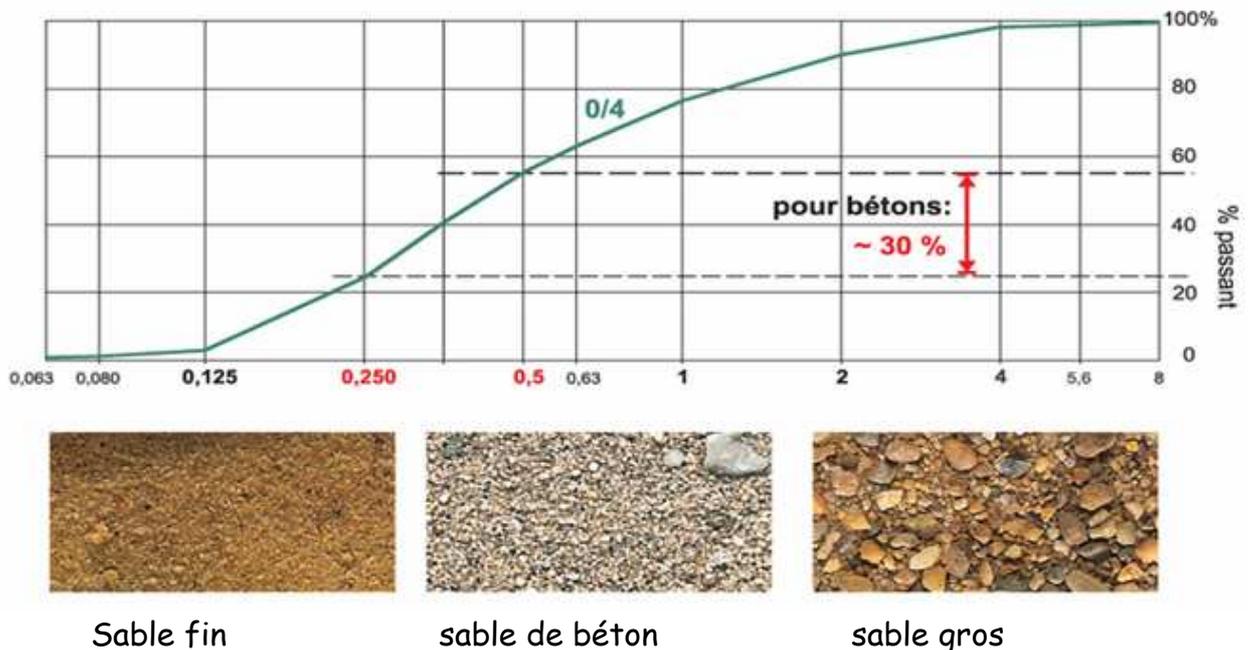


Figure I-3: Exemple de granularité du sable

4-1-5-Composition granulométrique des sables

Les sables de carrières et les sables artificiels contiennent généralement diverses grosseurs des grains, presque tous les sables de carrières sont fins, les meilleures contiennent peu d'éléments moyens [Brah-1996]

La composition granulométrique d'un sable se définit par la proportion des grains de diverses grosseurs qui le composent.

Il est très important de connaître la composition granulométrique car elle influe sur la résistance des mortiers à la compression et sur la mise en œuvre.

Pour une même richesse du ciment, on peut affirmer :

- Que les mortiers sont d'autant plus résistants aux efforts de compression que leur sable est plus gros.
- Qu'ils sont d'autant plus plastiques que leurs sables sont de grosseurs mieux gradués et qu'ils contiennent une plus grande proportion d'éléments fins ; ceci toute fois jusqu'à une certaine limite au delà de laquelle ils perdent initialement de la résistance sans acquérir un accroissement correspondant. [Brah-1996]

4-1-6-Vide de sable

Un sable est parfaitement homogène c'est-à-dire celui dont la composition est graduée gros, moyens et fins.

Le sable le plus compact, c'est-à-dire celui où la proportion des vides est la moins élevée. Il est composé d'environ 60 % de gros sable est de 40 % de sable fin, sans sable moyen, un tel sable ne contient pas plus que 36 % de vides.

La forme des grains de sable à aussi une certaine importance, ce sont les sables arrondis qui pressentent le moins de vides.

5-Les caractéristiques géométriques des granulats

5-1-Forme des granulats

En principe, les matériaux concassés, à condition qu'ils présentent une bonne adhérence au liant, conviennent mieux que les matériaux arrondis pour les bétons (mortier) soumis au frottement.

Dans les autres cas, il semble que les granulats à grains arrondis soient préférables aux matériaux de concassage. Un des inconvénients des produits de concassages non dépoussiérés est le suivant : ils contiennent une proportion exagérée de farine, cette farine absorbe de grandes quantités d'eau de gâchage, et a pour effet de diminuer la résistance du béton (mortier) ce qui justifie la mauvaise réputation des granulats de broyage.

Quoi qu'il soit, la forme optimale pour les grains est celle qui se rapproche le plus

- de la sphère, pour les matériaux roulés
- de cube pour les matériaux broyés

5-2-Module de finesse

Le module de finesse permet de juger globalement de la granularité d'un sable : un module de finesse élevé indique un sable grossier, un module de finesse faible caractérise un sable fin.

C'est une caractéristique intéressante, surtout en ce qui concerne les sables.

Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2.2 à 2.8 ; au dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins qui nécessite une augmentation de dosage en eau, au dessus, le sable manque de fines et le mortier (béton) y perd en ouvrabilité. [Dreux-1997]

On distingue quatre types de sable par exemple suivant les normes soviétiques on fonction du module de finesse M_f et qui sont comme suite :

- Sable Gros $M_f \geq 2.5$
- Sable Moyen $2 \leq M_f \leq 2.5$
- Sable Fin $1.5 \leq M_f \leq 2$
- Sable Très Fin $1 \leq M_f \leq 1.5$

Alors que suivant les normes européennes nous trouvons la classification suivante

- **Sable à majorité des grains fins** passant au tamis 0.5mm et retenu par le tamis 2mm
- **Sable normal** passant au tamis 2mm et retenu par le tamis 0.5mm
- **Sable plutôt grossier** : passant au tamis 5mm et retenu par le tamis 2mm

5-3-Coefficient d'aplatissement

Ce coefficient est le pourcentage de grains dont la grosseur excède 1.56 fois l'épaisseur, c'est une mesure vite la quantité d'éléments plats et allongés qui permet de juger de la forme de grains [Baron-1997]

Une mauvaise forme nuit à la maniabilité, ce qui risque de recourir à un accroissement du dosage en eau. Elle favorise également la ségrégation et l'apparition des défauts d'aspect

5-4-Porosité

C'est une mesure de pores accessible à l'eau [Baron-1997] elle est déterminé en mesurant l'augmentation de la masse d'un échantillon sèche au four après avoir été émergé dans l'eau pendant 24 heures et séché superficiellement

Le rapport entre l'augmentation de la masse et la masse de l'échantillon sec, exprimé en pourcentage, est défini comme étant l'absorption A_b [NEV-2000] qui ne doit pas dépassé les 5 %

Une absorption d'eau élevée diminue le module d'élasticité et accroît le fluage [Baron-1997]

6-Propriétés mécaniques des granulats

6-1-Dureté : La première propriété mécanique des granulats est la dureté qui est définie comme étant la résistance d'un échantillon de roche à se briser sous un choc, on distingue :

- Essai deval,
- Essai micro- deval
- Essai los angeles

6-2-Impuretés dans les granulats :

Tous les granulats contiennent une quantité, plus ou moins d'impuretés, qui influent négativement sur les qualités essentielles du mortier (béton). Cependant, on peut les classer en [BRAH-1996]

6-2-1-Impuretés organiques : Les matières organiques trouvées dans les granulats sont généralement constituées de produits de décomposition de matières végétales, et apparaissent sous forme d'humus ou terre organique. De

tels matériaux semblent être plus courants dans les sables que dans des granulats grossiers [NEV -2000]

La teneur en matières organiques doit être faible que possible ($\leq 0.1\%$) car leur présence peut perturber la prise, faire chuter les résistances surtout au jeune âge [Bar-1997]

6-2-2 Argiles et matériaux fins : L'argile peut être présente sous forme d'une pellicule enveloppant les granulats et interférer dans leur liaison avec la pâte de ciment. Comme une bonne liaison est essentielle pour garantir au béton (mortier) une bonne résistance et une durabilité satisfaisante, ce film argileux peut causer un réel problème.

Deux grands types de matériaux fins peuvent exister dans les granulats :

Le silt et la poussière de concassage, le silt est un matériaux de 2 à 60 micromètre, réduire à cette taille par des processus météorique naturels; il peut aussi se trouver dans des granulats provenant de dépôt naturels. Par ailleurs ; les poussières de concassage sont des matériaux fins formés durant le processus de réduction de la roche en une pierre concassée ou; plus rarement, de gravier en granulats fins concassée [NEV-2000]

La norme algérienne (française) fixe le teneur en matériaux fins à moins de 2%.

6-2-3 Contamination par le sel : Un sable provenant du bord de mer ou qui a été dragué, soit en mer, soit en estuaire de rivière, tout comme un sable de désert, contient du sel est doit être traité .

6-2-4 Élément prohibés : il s'agit de débris végétaux, charbons, grains légers... ; déterminés par triage manuel sur tamis. Leurs présences est limitée à 0.1 % car ils nuisent à la durabilité du béton [Baron-1997]

6-2-5 Réaction Alkali - Silice : Un nombre croissant de réactions chimiques nocives entre les granulats et la pâte de ciment hydraté a été observé, la plus commune est la réaction entre les phases siliceuses réactives des granulats et les alcalis du ciment.

Les réactions débutent par l'attaque des phases siliceuses des granulats par les hydroxydes alcalins présents dans l'eau des pores et qui proviennent des alcalis des ciments. Il en résulte la formation d'un gel silico - alcalin des granulats ou à la surface des granulats, qui peut détruire l'adhérence entre les granulats et la pâte de ciment [NEV-2000]

7-Eau de gâchage

7-1-1 Définition

L'eau de gâchage est la quantité totale ajoutée au mélange sec du mortier elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de la mise en œuvre.

7-1-2 Caractéristiques de l'eau de gâchage.

- **Caractéristiques physiques** : l'eau de gâchage doit être propre ; ne pas contenir de matières en suspension au de las de certaines valeurs permises [BRAH-1987]. Les tolérances réglementaires des matières en suspension sont les suivantes :

- 2 g /litres pour les bétons de types A et B
- 5 g / litres pour les bétons de types C

- **Caractéristiques chimiques** : L'eau de gâchage ne doit pas contenir des sels dissous au- delà de :

- 15 % g/litre pour les bétons des types A et B
- 30 g/litre pour les bétons du type C

Toute eau douteuse doit être soumise à une analyse chimique

8- Composition du mortier de ciment

La composition du mortier de ciment est comprise entre un dosage minimum de **250 kg** de ciment , par exemple , en m³ de sable et le dosage maximum correspondant au ciment pur, chacun de ces dosage a forcément des propriétés spéciales et une résistance différentes.

La prise d'un mortier de ciment ne doit pas être trop rapide, afin d'éviter du commencement de durcissement entre le gâchage et la mise en œuvre.

En prenant 30 % comme moyenne de vide de sable, le volume de pâte de ciment doit être de 0.300 m³ par m³ de sable, or 100 kg de ciment donnent 64 l de ciment en pâte. Pour avoir un mortier de ciment plein, il faut donc 300/64 = 4.7 fois 100 kg, soit 470 kg de ciment.

Si le volume des vides de sable est moindre, on pourra réduire cette proportion, mais il ne faudrait pas descendre en dessous de 300 kg de ciment par m³ de sable, ce mortier étant maigre et par suite poreux.

8-1 Quantité d'eau employée

La quantité d'eau employée pour former un mortier plastique croît avec le poids du liant et avec la finesse du sable. Elle dépend de la nature du liant, de l'humidité du sable, de la température. On la détermine sur chantier par une expérience rapide, prévoir en moyenne 25 à 32 % de volume du sable, Pour les

Mortiers plastiques 1/3, les mortiers de chaux étant ceux qui exigent le plus d'eau.

La quantité d'eau à employée est sensiblement égale à la somme de la quantité d'eau nécessaire pour amener le liant à l'état de pâte plastique et de celle nécessaire pour mouiller le sable.

Pour le ciment portland, on peut compter 25 % pour la première quantité.

En ce qui concerne le sable, pour l'amener à une consistance plastique, il faut 3 % d'eau pour le sable gros, 9 % pour le sable moyen et 23 % pour le sable fin.

Pour un dosage de 450 kg de ciment, on a :

- pour le ciment : 450×0.25 = 112 l
 - pour le sable : 9 % de 1 m^3 = 90 l
- Total = 202 l

La quantité d'eau employée varie également suivant la durée de prise que l'on veut avoir.

9-Propriétés du mortier

Les propriétés principales d'une pâte de mortier sont :

9-1 Fluidité : Une pâte de mortier peut avoir, suivant les composants des consistances différentes, depuis sèche jusqu'à fluide.

Les mortiers de maçonnerie, de travaux de finissage de bâtiment et autres sont suffisamment fluides.

La fluidité de la pâte de mortier détermine la maniabilité c'est-à-dire le pouvoir de se poser sur une surface, avec une dépense minimale d'énergie sous forme d'une couche de densité uniforme fortement adhérent à la surface de base.

9-2-Le pouvoir de retenir de l'eau : Il est caractérisé par la propriété de la pâte de ne pas se stratifier pendant le transport et de conserver assez d'eau dans la couche fine sur une base poreuse.

9-3-Résistance mécanique : Elle dépend de l'activité du liant et du rapport ciment - eau. Le mortier durci possède un certain nombre de propriétés de résistance mécanique d'importance majeure.

La solidité du rejointoiement entre le mortier et l'élément est très importante. Quant à l'ouvrabilité, il n'existe pas de méthode sûre pour la mesurer et par conséquent les mortiers sont évalués d'après les valeurs de résistance à la

Compression d'éprouvettes cubiques soumises à des conditions de moulage et de cure plus proche de celles que l'on rencontre avec le béton qu'avec le mortier.

La méthode d'essai est simple, les résultats sont reproductibles, et au cours des années les ingénieurs en maçonnerie ont appris à établir le lien entre la résistance à la compression et les propriétés de maçonnerie recherchées. Peut-être surestime-t-on l'importance de la résistance du mortier à la compression à cause de la confusion entre béton et mortier notée précédemment.

La solidité du rejointoiement, la bonne ouvrabilité et un bon pouvoir de rétention d'eau donnent au rejointoiement une force maximale et par le fait même ces qualités sont plus importantes que la résistance du mortier à la compression.

La résistance à la flexion est également importante, parce qu'elle détermine la capacité d'un mortier à résister à la fissuration.

Les mortiers devraient toujours avoir moins de résistance que les éléments de maçonnerie pour que les fissures se produisent dans les joints, où elles peuvent être facilement colmatées.

10-le Retrait

10-1-Introduction : Le mortier est l'objet de retrait, c'est-à-dire d'une réduction dimensionnelle, en l'absence de chargement, due essentiellement à l'évaporation de l'eau excédentaire interne.

10-2-Phénomène du retrait

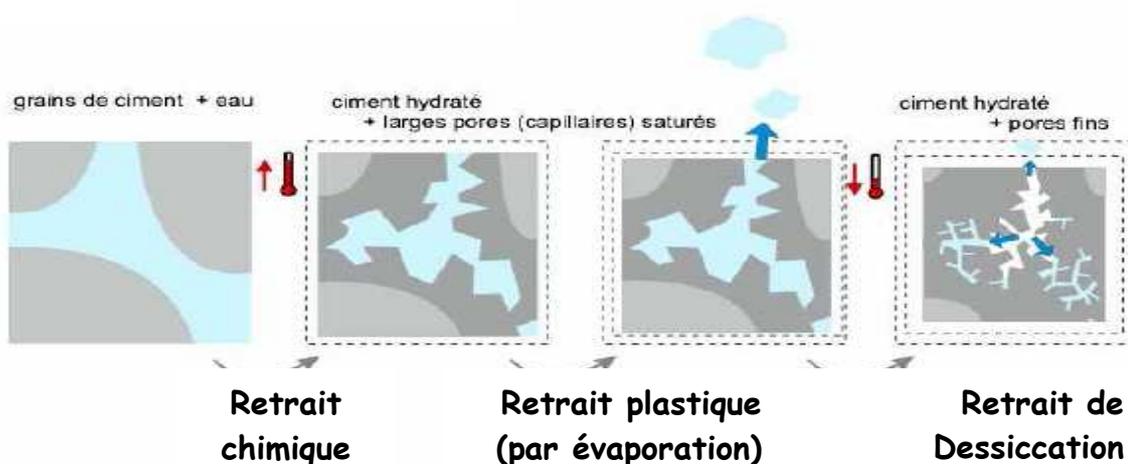


Figure I-4 : Phénomène du retrait [Boer-2008]

On distingue :

- **Le retrait chimique** : Le retrait chimique est dû au fait que le ciment hydraté occupe un volume plus petit que la somme du volume du ciment et de l'eau.

- **Le retrait plastique** : Le retrait plastique est causé par l'évaporation de l'eau de gâchage; *c'est-à-dire* créé par la dessiccation de la pâte de ciment au début du phénomène d'hydratation ;

La cure du mortier a pour but de prévenir les effets de ce retrait qui, non contrôlé, peut être à l'origine de fissurations importantes ;

- **Le retrait par auto dessiccation** de la pâte de ciment au cours de l'hydratation ;

- **Le retrait thermique** dû aux effets des gradients de température qui se manifestent dans le mortier lors de la dissipation de la chaleur d'hydratation ;

- **le retrait à long terme du mortier durci**, ou retrait proprement dit, dû à l'évaporation de l'eau contenue dans le mortier et, à une moindre échelle, à la poursuite de l'hydratation du liant, toutes causes qui ont pour effet de réduire l'hygrométrie des pores du mortier. Pour l'ingénieur, le retrait est une déformation différée se produisant en l'absence de charge. Il croît avec le temps pour tendre, après quelques années, vers une limite qui dépend de :

- La composition du mortier,
- Le dosage en ciment et en eau,
- L'épaisseur des pièces
- L'humidité relative de l'atmosphère environnante.

10-3-Nature du ciment portland hydraté et mécanisme du retrait

A la suite de l'hydratation et du durcissement, le ciment consiste en un mélange de plusieurs composés, tous chimiquement combinés de diverses manières avec l'eau. Le composé qui exerce la plus forte influence sur les caractéristiques du ciment hydraté, retrait inclus, est le silicate de calcium qui possède une grande surface interne. Cette surface interne se compose des parois des pores et fissures minuscules situés à l'intérieur des spécimens. C'est la nature de cette surface

qui fait du ciment hydraté un agent efficace de cémentation et lui confère la souplesse de former des éléments possédant une grande résistance et affectant presque n'importe quelle forme désirée. Lorsque les surfaces sont très proches les unes des autres, il se produit une attraction réciproque comparable à celle de la gravitation donnant naissance à une forte "soudure". Lorsque la surface interne est grande, les nombreuses soudures confèrent aux corps résistance et rigidité.

Le béton (mortier) ne constitue donc pas une masse solide inerte, mais se compose d'un très grand nombre de petits pores ou capillaires qui peuvent au total représenter jusqu'à 50 pour cent du volume du béton. Les pores et capillaires sont ordinairement pleins d'eau pendant la cure de sorte qu'il n'existe aucune contrainte.

A mesure que progresse la cure, trois mécanismes interviennent pour donner naissance au retrait.

1. La nature instable de l'hydrate de silicate de calcium nouvellement formé entraîne le retrait alors que la dessiccation se produit; la nature exacte de ce mécanisme n'est pas connue d'une manière précise mais il est permanent et irréversible.
2. Des efforts de compression se développent dans le béton (mortier) du fait de la naissance de ménisques dans les capillaires pendant que progresse la cure.
3. Des changements énergétiques se produisent à la surface du silicate de calcium alors que l'eau s'évapore.

Agissant séparément ou en combinaison, ces mécanismes engendrent le retrait initial du béton (mortier) dû à la dessiccation. Une partie du retrait est irréversible.

10-4- Effet de la teneur en ciment et en eau sur le retrait

La teneur en eau est probablement le facteur isolé le plus important exerçant une influence sur le retrait de la pâte et du béton (mortier). Pour les échantillons de béton présentant un rapport granulats-ciment de 5 à 1, les valeurs typiques de retrait sont 0.04, 0.06, 0.075, et 0.085 pour cent correspondant aux rapports eau-ciment 0.4, 0.5, 0.6 et 0.7 respectivement. Une des raisons de ces variations consiste dans le fait que la densité et la composition du silicate de calcium formé avec différents rapports eau ciment peuvent varier légèrement.

D'une manière générale, une teneur plus élevée en ciment augmente le retrait du béton (mortier); la relation entre les retraits de la pâte de ciment pure, du mortier et du béton est de l'ordre d'environ 5, 2, et 1. Pour des matériaux donnés, cependant, et pour une teneur uniforme en eau, le retrait du béton varie peu pour un large écart de teneurs en ciment; un mélange plus riche présente un rapport eau ciment plus faible, et ces facteurs se compensent mutuellement.

10-5-Effet des Propriétés du ciment

La finesse du ciment semble jouer un rôle dans le retrait; les particules ne traversant pas le tamis 0.2mm réagissent très lentement en présence de l'eau; aussi exercent-elles un effet de contrainte semblable à celui de l'agrégat. C'est ainsi que du ciment à haute résistance initiale, qui est extrêmement fin, se contracte environ 10 pour cent de plus que le ciment normal. Les ciments à faible dégagement de chaleur et les ciments Portland aux pouzzolanes, se contractent respectivement 20 à 35 pour cent de plus. Il est pensé que ce fait est dû aux plus grandes quantités de silicate de calcium, l'élément causant le retrait, présentes

10-6-Type et classification du granulat

Le retrait du ciment dû au séchage ne représente qu'une partie de celui du ciment pur parce que les particules des granulats non seulement diluent la pâte, mais la renforcent contre la contraction.

Les chercheurs ont démontré que lorsqu'on utilise un granulat aisément compressible, le béton se contracte autant que le ciment pur, et que le schiste expansé entraîne un retrait un tiers plus important que celui du granule courant.

La grenaille de fonte provoque d'un autre côté un retrait un tiers plus faible que celui du béton ordinaire. Les propriétés élastiques des granulats déterminent, d'une manière générale, le degré de contrainte offert.

La grosseur et la graduation du granulat n'influencent pas par eux-mêmes la grandeur du retrait, mais un granulat plus gros permet l'emploi d'un mélange contenant moins de ciment et par suite sujet à un moindre retrait. Aussi obtiendra-t-on une substantielle réduction du retrait en augmentant la grosseur maximale du granulat et de là la teneur en granule de 20 pour cent du volume total du béton.

Le retrait des granulats eux-mêmes peut jouer un rôle extrêmement important dans la détermination du retrait du béton; certains grès à grains fins, ardoise, basaltes, et certains granules contenant de l'argile présentent d'importants retraits.

D'une manière générale, les bétons et les mortiers présentant un faible retrait contiennent du quartz, du calcaire, du granit ou du feldspath.

Les effets nuisibles causés par un retrait anormal du béton engendrés par le granulat, et effectivement observés sur des constructions, sont variés. Ils comprennent:

- le fendillement excessif,
- Le fléchissement important de poutres et dalles armées, et un peu d'effritement.

Il est essentiel, lorsqu'on se propose d'utiliser une source nouvelle de granulat, de procéder à des essais de manière à s'assurer qu'il n'en résultera pas un retrait excessif du béton.

Si le retrait est supérieur à 0.08 pour cent, le granulat en cause doit être considéré comme indésirable.

10-7-Effet des Adjuvants.

Ainsi qu'on peut le prédire d'après les effets exercés par le rapport eau-ciment sur le retrait, les adjuvants qui augmentent les besoins en eau du ciment augmentent le retrait et ceux qui en diminuent les besoins, diminuent le retrait. Dans la proportion souvent utilisée comme accélérateur (2 pour cent en poids de la quantité de ciment), le chlorure de calcium peut augmenter le retrait dû au séchage dans une proportion pouvant atteindre 50 pour cent.

L'effet d'ensemble produit par l'emploi de béton et de mortier à air occlus n'est pas une augmentation du retrait. Si on les utilise dans des proportions plus fortes qu'il n'est normalement prévu, certains adjuvants peuvent augmenter considérablement le retrait; aussi doit-on apporter une grande attention aux proportions utilisées.

10-8-Vitesse de Séchage.

Il est important, lorsqu'on désire évaluer la pertinence du problème du retrait, de tenir compte de la dimension de l'élément et des conditions d'exposition. Le séchage du béton ordinaire exposé à un environnement maintenu à 50 pour cent d'humidité relative affecte en un mois la teneur en humidité jusqu'à une profondeur de 3 pouces. Une exposition continue à des conditions semblables jouerait un rôle important dans le cas de petits éléments de béton mais serait sans importance dans le cas d'éléments massifs.

10-9-Comment limiter le retrait

Limiter le retrait total, c'est :

- Choisir le ciment ;
- Définir le bon dosage : ni trop, ni pas assez ;
- Limiter la quantité d'eau;
- Se méfier des produits d'addition, notamment ceux destinés pour
Compenser le sous dosage en ciment ;
- Protéger les surfaces contre l'évaporation.

La variation de volume peut être un phénomène important à considérer lors du design et de la construction et la meilleure manière de les accommoder est par une connaissance plus grande des facteurs responsables de tels comportements. Comme de nombreux autres matériaux utilisés en construction, le mortier à une structure physique et chimique complexe encore incomplètement connue.

11- Conclusion

À la vue de cette revue bibliographique, on a pu remarquer l'influence des différents composants sur les propriétés des mortiers confectionnés. Parmi ces composants, la nature du sable, a donc son importance. Cette nature concerne le type de la roche d'origine, la grosseur et la granularité. On a orienté notre travail vers l'étude comparative des propriétés des mortiers. Ces mortiers sont confectionnés à partir cinq sables différents (trois sables issus de carrières différentes de la région de Guelma, un sable de mer et un sable normalisé)

Chapitre II

Caractérisation des matériaux

1- Introduction

Le mortier est constitué des composantes dont les caractéristiques physiques et mécaniques sont différentes, chacun joue un rôle dans le comportement et la qualité du mortier.

Ce chapitre présente une étude expérimentale des caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux utilisés, ainsi que les modes opératoires et l'appareillage utilisé pour leurs déterminations.

Les essais ont été effectués au Laboratoire de Génie Civil et Hydraulique (LGCH) de l'université de Guelma.

2- Essais réalisés

2-1-Masse volumique

La masse volumique d'un corps est la masse de l'unité de volume de ce corps.

Il faut distinguer entre :

- Masse volumique apparente
- Masse volumique absolue

2-1-1-Masse volumique apparente : c'est la masse de l'unité de volume apparent du corps (y compris les vides)

L'essai consiste à :

- Peser un récipient vide de masse : M_1 et de volume : V_1
- Verser à l'intérieur sur toute la surface et son tassement
- Araser avec soin à l'aide d'une règle plate
- Peser le récipient rempli : M_2
- Effectuer 3 mesures et faisant une moyenne
- Calculer:

$$\rho_{app} = \frac{M_2 - M_1}{V_1}$$

2-1-2-Masse volumique absolue

Méthode de l'éprouvette

- Mettre dans une éprouvette gradué un volume d'eau : V_1
- Peser une masse sèche de l'échantillon : M_s
- Verser l'échantillon dans l'éprouvette remplie d'eau, éliminer Aussi bien que possible les bulles d'air
- Relever le volume : V_2
- Calculer :

$$\rho_{abs} = \frac{M_s}{V_2 - V_1}$$

- Répéter 3 fois la manipulation et calculons la moyenne

Équipement utilisé

- Etuve pour sécher le sable à 105°
- Eprouvette graduée
- Balance de précision

2-2-Mesure de la propreté de sable

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

L'essai consiste à

- Remplir une éprouvette graduée jusqu'au 1^{er} trait.
- Verser la quantité de sable (environ 120 g), et laisser reposer pendant 10 mn
- Boucher l'éprouvette, et la faire agiter 90 fois aller et retour dans le sens horizontal puis replacer verticalement,
- Laver le sable avec une solution lavante et laisser reposer l'ensemble pendant 20 min,
- Mesurer la hauteur du sable propre (h'_2) et la hauteur du sable propre + éléments fins (h_1)
- La mesure de (h'_2) n'est pas toujours aisée, ce que conduit à faire la mesure la plus précise : ES
- Descendre lentement le piston dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, l'immobiliser, mesurer h_2

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

$$ESV = \frac{h'_2}{h_1} \cdot 100 \%$$

L'équivalent de sable (ES) est défini par :

$$ES = \frac{h_2}{h_1} 100 \%$$

Les valeurs minimales de l'équivalent de sable sont :

60 % pour l'équivalent de sable visuel et 60 % pour l'équivalent de sable

Équipements utilisés

- Eprouvette graduée + un piston
- Tube Laveur,
- Solution lavante,
- Règle de mesure,
- Bonbonne de 5 litres et son bouchon, avec siphon et tube souple de 1.50 m



Figure II-1: Appareillage de l'équivalent de sable

2-3-Mesure de la teneur

La masse de l'échantillon pour essai doit être conforme à la formule suivante :

$$200 D < L < 600 D$$

D: taille maximale des granulats

2-3-1-Teneur en eau

- peser l'échantillon au gramme près, soit M sa masse
- sans lavage préalable, sécher l'échantillon à l'étuve à 105° jusqu'à une masse constante, soit M'
- la teneur en eau w est

$$w = \frac{M - M'}{M'} \times 100$$

2-4-Analyse granulométrique

Le but est de :

- Déterminer les pourcentages des grains de chaque dimension,
- Calculer le module de finesse

Équipement nécessaire

- **Tamis** : Ceux sont les tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisées,

- **Machine à tamiser** : Il est conseiller d'utiliser une machine à tamiser électrique qui imprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis

La norme actuelle EN 933-2 préconise pour l'analyse granulométrique, la série des tamis :

0.063 - 0.125 - 0.250 - 0.5 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 31.5 - 63 - 125.

- **Etuve** pour séchage des granulats,

- **Une balance** électrique de grande précision



Figure II-2: 1-tamis ; 2- balance ; 3-tamiseuse électrique

L'essai consiste a :

- Fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes,
- Peser le refus du tamis ayant le plus grands maille, soit R1 la masse de se refus,
- Reprendre la même opération avec les tamis immédiatement inférieur : ajouter le refus obtenus à R1 et peser l'ensemble, soit R2 la masse de deux refus cumulés,
- Poursuivre la même opération avec tous les tamis de la colonne,
- Déterminer les pourcentages du tamisât pour chaque tamis en soustrairont les refus R_i de 100.

3- Résultats

Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur l'objectif de ce travail et puis sur leur disponibilité dans la région de Guelma. Les granulats sont les plus souvent choisis pour leur disponibilité local et ceci pour des raisons purement économiques liées au coût du transport.

Les matériaux utilisés sont:

- Un sable littoral - de mer
- Trois types de sable de carrière,
- Un sable normalisé,
- Un ciment portland composé CPJ 42.5.
- L'eau du robinet

3-1- Sable

3-1-1-Sable du littoral

Le sable utilisé est un sable de la région de la wilaya de SKIKDA dont les caractéristiques sont présentées dans le **tableau II -1**.

3- 1-2-Sables de carrière

Les sables de carrières de fraction 0/4, sont ceux issus des carrières de la région de la wilaya de Guelma.

Les sables proviennent également de différentes carrières les plus fréquentés par les entreprises de construction de la wilaya de Guelma.

- Sable de carrière 1
- Sable de carrière 2
- Sable de carrière 3

3- 1-3-Sable normalisé (N)

3-1-4-Dénomination des sables

Les sables qui ont servi lors de l'étude sont dénommés comme suite :

Tableau II-1: Dénomination des sables

<i>Dénomination de sable</i>	<i>Sables</i>
C 1	Carrière 1
C 2	Carrière 2
C 3	Carrière 3
M	Littoral (MER)
N	Normalisé

3-1-5-Caractéristiques physiques des sables utilisés

Les sables désignés ci-dessus ont servi à la confection des mortiers testés et dont les caractéristiques ont été déterminés expérimentalement au laboratoire de génie civil et hydraulique de l'université de 08 mai 45 Guelma.

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau **II-2** : Caractéristiques physiques des sables

Caractéristiques		Dénomination du sable				
		C 1	C 2	C 3	M	N
Masse Volumique Apparente (g/cm ³)		1.53	1.56	1.54	1.54	1.71
Masse Volumique Absolue (g/cm ³)		2.63	2.57	2.7	2.70	2.63
Equivalent De Sable	E.S.V (%)	74	72	76	93	94
	E.S (%)	73	70	74	92	93
Teneur En Eau (%)		0.22	0.23	0.27	0.33	-

Commentaire :

L'équivalent des sables a été déterminé selon la norme NF EN-933-8, les résultats indiquent que ce sont des sables propres à faible pourcentage de fines argileuses et convenant parfaitement pour les bétons et mortiers de haute qualité.

3-1-6-Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique est faite suivant la norme EN933-2, la masse testée répond à la condition générale suivante :

$$200 D < M < 600 D$$

Où :

D : taille maximale des granulats (soit 5 mm dans ce cas)

Les résultats de l'analyse granulométrique sont présentés dans les tableaux qui suivent.

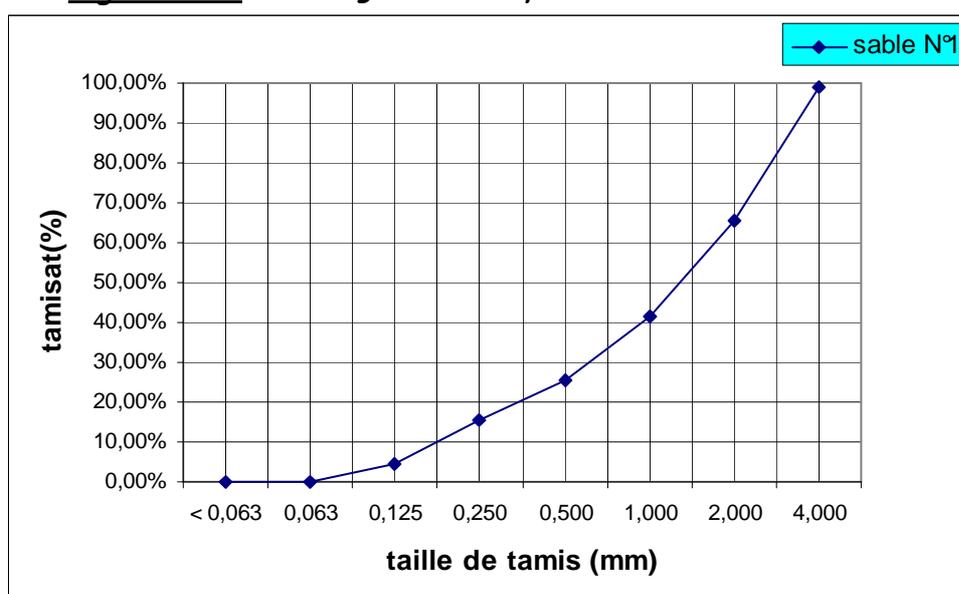
3- 1-6-1-Analyse granulométrique sable concassé « C1 »

Tableau : II-3 : Analyse granulométrique du sable concassé « C1 »

Diamètre des mailles (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
4	15	15	1.34	98.66
2	675	690	34.5	65.50
1	475	1165	58.25	41.75
0.50	325	1490	74.50	25.50
0.250	200	1690	84.50	15.50
0.125	220	1910	95.50	4.50
0.063	85	1995	99.75	0.25
< 0.063	5	2000	100	0.00

Expression des résultats en courbe granulométrique

Les pourcentages des tamisats cumulés sont représentés sous forme d'une courbe granulométrique en partant les ouvertures des tamis en abscisse, sur une échelle logarithmique, les pourcentages en ordonnée, sur une échelle arithmétique. La courbe est tracée d'une manière continue.

Figure II-3: Courbe granulométrique du sable concassé « C1 »

Commentaire :

On remarque :

- 74.5 % des grains de sable ont un diamètre compris entre 0.5 et 5 mm., c'est un sable gros.
- le pourcentage retenu en poids entre deux tamis est inférieur à 40 %, le sable a donc une granularité continue.
- Le pourcentage des fines (le passant à 0.08 mm) est 1.40. %, inférieur à 10 % d'après la norme c'est un sable propre.

Module de finesse de sable concassé « C1 »

On définit le module de finesse d'après la formule :

$$M_f = \frac{\sum \text{refus cumulés sur tamis de module } 23,26,29,32,35,38}{100}$$

On a :

- Refus sur le tamis d = 0.16 = 90.5 %
- Refus sur le tamis d = 0.315 = 77 %
- Refus sur le tamis d = 0.63 = 62.5 %
- Refus sur le tamis d = 1.25 = 40.5 %
- Refus sur le tamis d = 2.5 = 9.6 %
- Refus sur le tamis d = 5 = 0%

Soit pour ce type de nature de sable

$$M_f = 2.80\% \quad \text{c'est un sable gros}$$

En conclusion il s'agit d'un bon sable, qui convient aussi bien pour obtenir une maniabilité satisfaisante qu'une bonne résistance.

3-1-6-2-Analyse granulométrique du sable de carrière « C2 »

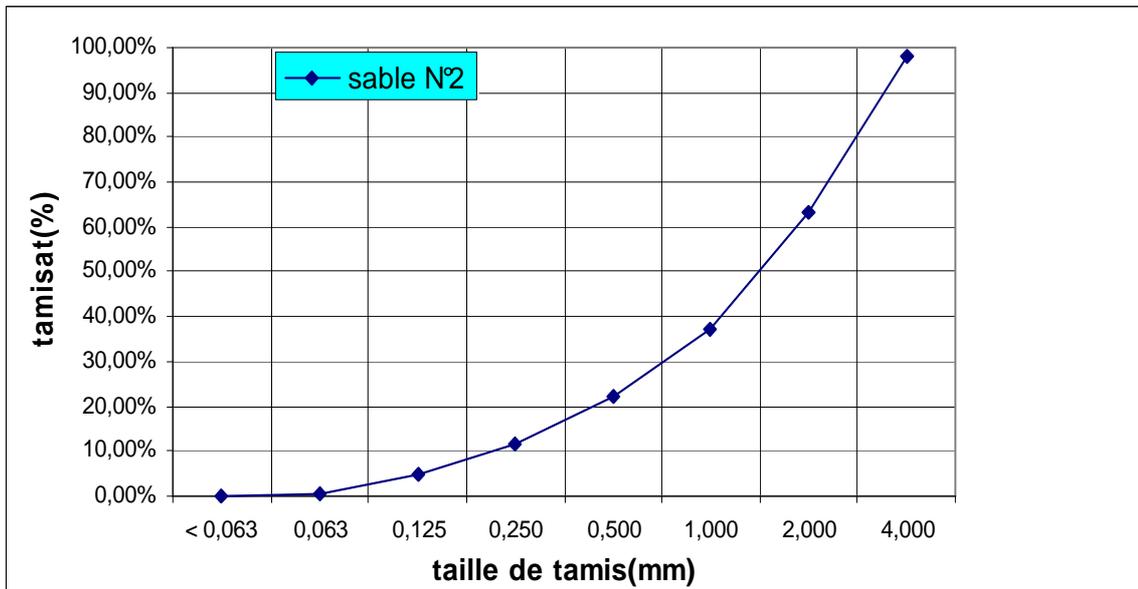
Tableau : II-4 : Analyse granulométrique du sable de carrière « C2 »

Diamètre des mailles (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
4	40	40	2	98
2	690	730	36.5	63.50
1	525	1255	62.75	37.25
0.50	300	1555	77.75	22.25
0.250	210	1765	88.25	11.75
0.125	135	1900	95	5.00
0.063	90	1990	99.5	00.50
< 0.063	10	2000	100	00.00

Expression des résultats de la courbe granulométrique

De la même manière que la courbe précédente, en trace les courbes suivantes :

Figure II-4: Courbe granulométrique du sable de carrière « C2 »



Commentaire sur les résultats de l'analyse granulométrique

On remarque:

- 77,75. % des grains de sable ont un diamètre compris entre 0,5 et 5 mm c'est un sable grossier.
- le pourcentage retenu en poids entre deux tamis est inférieur à 40 %, le sable a donc une granularité continue.
- Le pourcentage des fines (le passant à 0,08 mm) est 1,71 %, inférieur à 10 % d'après la norme c'est un sable propre.

Module de finesse du sable de carrière « C2 »

On définit le module de finesse d'après la formule

$$M_f = \frac{\sum \text{refus cumulés sur tamis de module } 23,26,29,32,35,38}{100}$$

On a :

- refus sur le tamis d = 0,16 = 93 %
- refus sur le tamis d = 0,315 = 80,5 %

- refus sur le tamis d = 0.63 = 67 %
- refus sur le tamis d = 1.25 = 43 %
- refus sur le tamis d = 2.5 = 11%
- refus sur le tamis d = 5 mm = 0 %

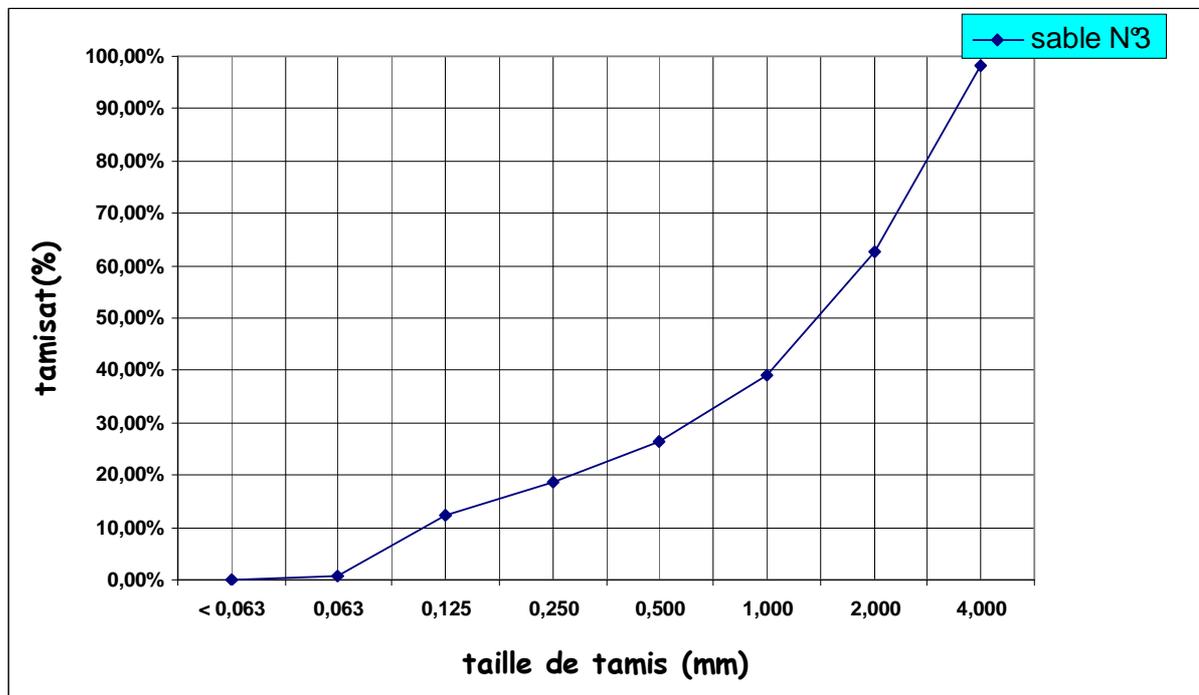
Soit pour ce type de sable

$$M_f = 2.95\% \quad \text{C'est un sable gros}$$

3-1-6-4-Analyse granulométrique du sable de carrière « C3 »

Tableau : II-5- Analyse granulométrique du sable concassé « C3 »

Diamètre des mailles (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	00	00	00	100
4	35	35	1.75	98.25
2	710	745	37.25	62.75
1	470	1215	60.75	39.25
0.50	260	1475	73.75	26.25
0.250	150	1625	81.25	18.75
0.125	130	1755	87.75	12.25
0.063	85	1840	92.00	08.00
< 0.063	160	2000	100	00

Figure II-5: Courbe granulométrique du sable de carrière « C3 »**Commentaire:**

On remarque :

- 73,75% des grains de sable ont un diamètre compris entre 0,5 et 5 mm, c'est un sable grossier.
- le pourcentage retenu en poids entre deux tamis est inférieur à 40 %, le sable a donc une granularité continue.
- Le pourcentage des fines (le passant à 0,08 mm) est 3,89 %, inférieur à 10 % d'après la norme c'est un sable propre.

Module de finesse de sable concassé « C3 »

On définit le module de finesse d'après la formule

$$M_f = \frac{\sum \text{refus cumulés sur tamis de module } 23,26,29,32,35,38}{100}$$

On a :

- refus sur le tamis $d = 0,16 = 83 \%$
- refus sur le tamis $d = 0,315 = 76 \%$

- refus sur le tamis $d = 0.63 = 64 \%$
- refus sur le tamis $d = 1.25 = 43 \%$
- refus sur le tamis $d = 2.5 = 19.5 \%$
- refus sur le tamis $d = 5 \text{ mm} = 0 \%$

Soit pour ce type de sable

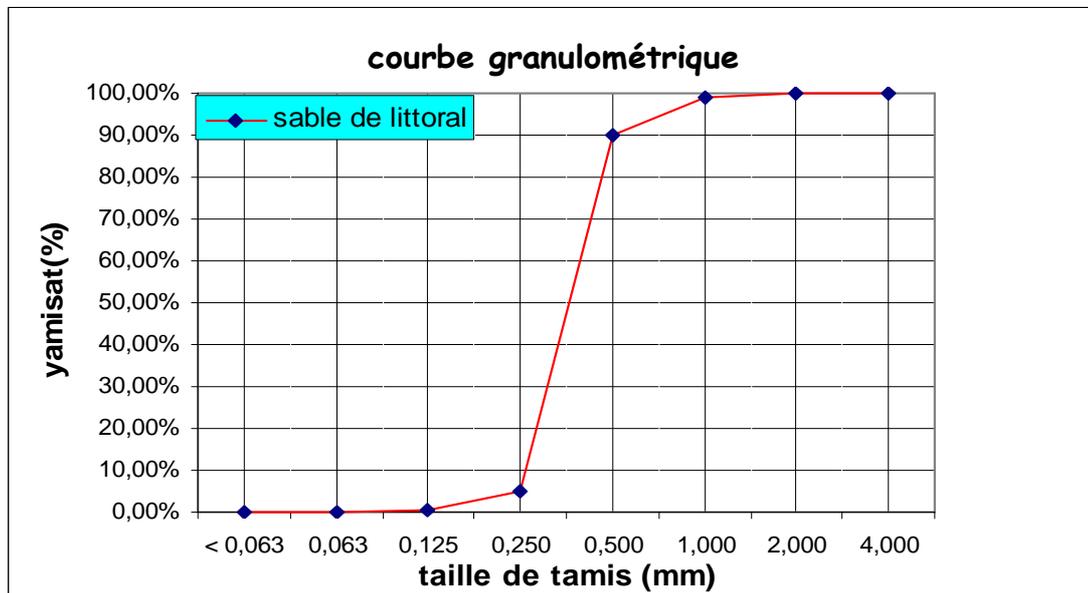
$$M_f = 2.86 \% \text{ c'est un sable normal}$$

3-1-6-5-Analyse granulométrique du sable du littoral (mer)

Tableau : II-6 : Analyse granulométrique du sable du littoral (mer)

Diamètre des mailles (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	00	100
4	0	0	00	100
2	1	1	0.05	99.95
1	14	15	0.75	99.25
0.50	180	195	9.75	90.25
0.250	1700	1895	94.75	5.25
0.125	95	1990	99.5	0.5
0.063	5	1995	99.75	0.25
< 0.063	5	2000	100	00

Figure II-6 : Courbe granulométrique du sable littoral (mer)

**Commentaire :**

On remarque:

- 9,75. % des grains de sable ont un diamètre compris entre 0.5 et 5 mm. C'est un sable très fin.
- le pourcentage retenu en poids entre deux tamis est *supérieur* à 40 %, le sable.
- Le pourcentage des fines (le passant à 0.08 mm) est 1.53. %, inférieur à 10 % (15%) d'après la norme c'est un sable propre.

Module de finesse du sable littoral (mer)

On a :

- refus sur le tamis $d = 0.16 = 96 \%$
- refus sur le tamis $d = 0.315 = 32 \%$
- refus sur le tamis $d = 0.63 = 12 \%$
- refus sur le tamis $d = 1.25 = 0.23 \%$
- refus sur le tamis $d = 2.5 = 0.02\%$

- refus sur le tamis d = 5 mm = 0 %

Soit pour ce type de nature de sable

$$M_f = 1.41 \% \text{ sable très fin}$$

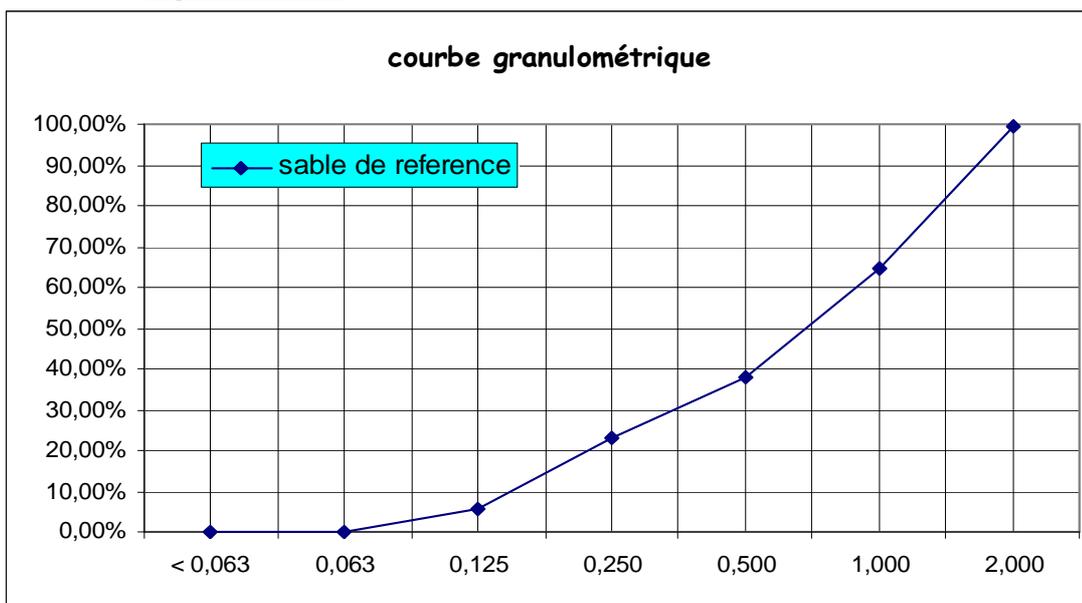
En conclusion il s'agit d'un sable qui ne répond pas à l'exigence normative des sables pour la conception des bétons hydraulique.

3-1-6-6-Analyse granulométrique de sable normalisé (N)

Tableau : II-7 : Analyse granulométrique du sable normalisé (N)

Diamètre des mailles (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	00	00	00	100
4	00	00	00	100
2	2.00	2.00	0.15	99.85
1	466	468	34.67	65.33
0.50	482	950	70.37	29.63
0.250	90	1040	77.03	22.97
0.125	235	1275	94.45	5.55
0.063	22	1297	96.07	3.93
< 0.063	53	1350	100	0

Figure II-7: Courbe granulométrique du sable normalisé (N)



On remarque:

- 70.37 % des grains de sable ont un diamètre compris entre 0.5 et 5 mm, c'est un sable très fin.
- le pourcentage retenu en poids entre deux tamis est inférieur à 40 %, le sable a donc une granularité continue.
- Le pourcentage des fines (le passant à 0.08 mm) est 4.36. %, inférieur à 10 % d'après la norme c'est un sable propre.

Module de finesse du sable normalisé « N »

On a :

- refus sur le tamis $d = 0.16 = 89.5 \%$
- refus sur le tamis $d = 0.315 = 75 \%$
- refus sur le tamis $d = 0.63 = 61 \%$
- refus sur le tamis $d = 1.25 = 26 \%$
- refus sur le tamis $d = 2.5 = 0 \%$
- refus sur le tamis $d = 5 \text{ mm} = 0 \%$

Soit pour ce type de nature de sable

$$M_f = 2.52\% \dots \dots \dots \text{c'est un sable normal}$$

En conclusion il s'agit d'un bon sable, qui convient aussi bien pour obtenir une maniabilité satisfaisante qu'une bonne résistance élevé.

On regroupe les résultats de l'analyse granulométrique des cinq sables sur la même figure suivante :

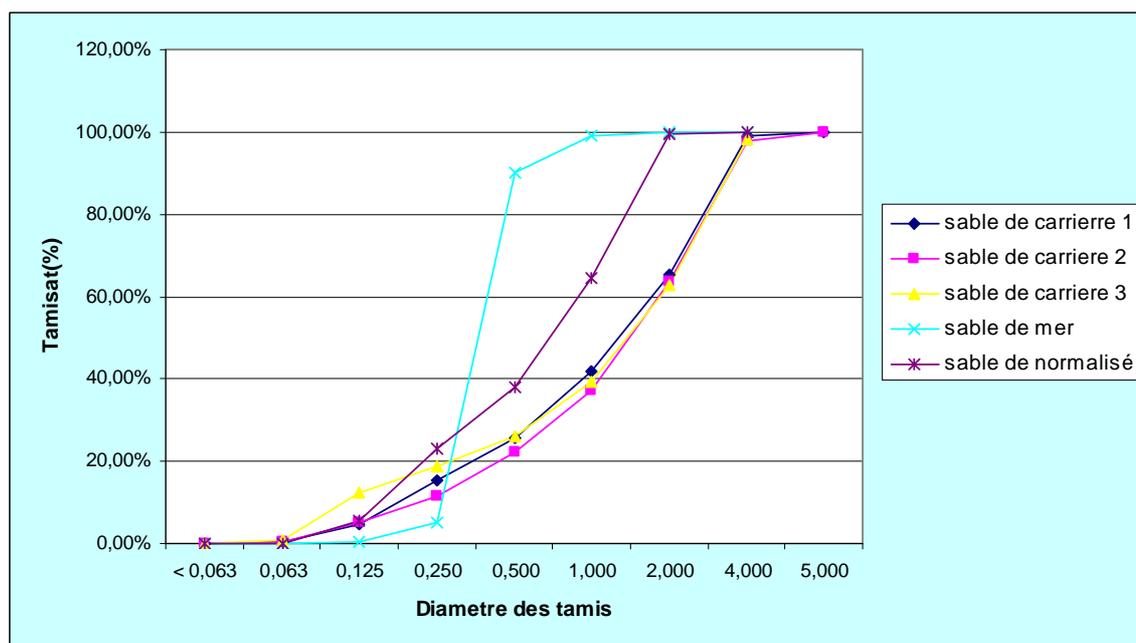


Figure II-8 : Courbe granulométriques des 5 sables

Conclusion

Le module de finesse est un facteur très important, qui nous permet de juger de la grosseur du sable.

Tableau II-8: module de finesse

	TYPE DE SABLE				
	<i>Carrière C1</i>	<i>Carrière C2</i>	<i>Carrière C3</i>	<i>Mer (M)</i>	<i>Normalisé(N)</i>
Module de finesse (%)	2.80 %	2.95 %	2.86 %	1.41 %	2.52 %

On remarque que

- Pour les sables de carrières et le sable normalisé le module de finesse est supérieur à **2.5 %**, ce qui caractérise les sables gros.
- Pratiquement ceux sont des sables bons pour la confection des bétons et des mortiers, puisque le module de finesse est supérieure à **2.2 %**.
- Les modules de finesse des sables de carrière sont proches (2.85 en moyenne). Ils se trouvent dans le fuseau utilisé lors d'une recherche de résistances élevées.
- Ces sables (carrière) permettent d'obtenir une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance (M_f est compris entre **2.2 % et 2.8 % [Dreux-1979]**)
- Le module de finesse du sable de mer (littoral) est inférieur à **2.2 %** et a une majorité d'éléments fins et très fins ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau et par conséquent une faible résistance.
- Le sable normalisé est plus fin que les sables de carrière mais il présente une meilleure propreté (c'est un sable normalisé).

Chapitre III

Techniques expérimentales

1- Introduction

Ce chapitre consiste en une présentation des essais réalisés pour l'évaluation des propriétés mécaniques du mortier à l'état durci à base des différents sables, ainsi que le retrait du mortier.

Le but principal de cette partie expérimentale est l'étude de l'influence de la nature du sable sur les propriétés principales du mortier en ciment à l'état durci.

2 - Méthodes expérimentales

2-1-Principe

L'expérimentation que nous avons mise en œuvre consiste à conduire des essais de résistance à la traction et à la compression sur des éprouvettes en mortier en ciment ainsi que les mesures des retraits qui représentent les principales caractéristiques du mortier à l'état durci.

2-2-Paramètres d'essai

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

- **La Nature** (minéralogie) **du sable** : cinq sables sont retenus dans cette étude qui sont, trois sables de carrière, un sable de mer, et un sable normalisé.
- **Le rapport E/C** : nous avons varié le rapport E/C : **0.50, 0.55 et 0.60.**
- **Composition du mortier** : pour pouvoir évaluer les caractéristiques des mortiers on a pris comme composition de départ celle d'un mortier normalisé (le mortier **1/3**), composé en poids de :
 - Une Partie De Ciment
 - Trois (3) Parties De Sable
 - 1/2 parties d'eau

Faisant fixé la quantité de ciment et du sable, on a varié le rapport E/C

2-3- Préparation des mortiers

2-3-1- Équipement utilisé pour la préparation des mortiers

- Une balance électronique qui nous permet des peser les quantités nécessaires avec une précision de 0.001. (figure III-1)
- un malaxeur décrit dans la norme **EN 196-1**, ce malaxeur est menu d'une cuve de cinq litres de contenance et d'une pale pouvant tourner à 2 vitesses (lente et rapide) (photo III-2)
- Les Moules normalisés permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée **4 cm x 4 cm** et de longueur **16 cm** (Ces éprouvettes sont appelées " *éprouvettes 4x4x16*") (Photo III-3)



Photo -III -1.



Photo III-2.



Photo III-3

2-3-2- Mode opératoire

La préparation du mortier est celle d'un mortier normal suivant la norme [EN 196,1], Ce sable et ciment sont gâchés avec de l'eau dans les proportions décrites dans la composition des mortiers. Le mortier est malaxé pendant 4 minutes conformément aux prescriptions de la norme :

- Introduire l'eau dans la cuve du malaxeur
- Verser en suite le ciment
- Mettre le malaxeur en marche a vitesse lente
- Après 30 secondes de malaxage introduire le sable
- Mettre le malaxeur à sa vitesse rapide
- Arrêter le malaxeur, enlever le mortier adhérent aux parois et au fond du récipient
- Reprendre ensuite le malaxage.

2-3-3- Confection des éprouvettes

Pour la Confection des éprouvettes; nous avons procédé de la façon suivante:

- Huiler les moules
- Vérifier le serrage des moules,
- Préparer un mélange homogène du mortier
- Remplir les moules de mortier frais
- Vibrer le mortier
- Une fois le moule est rempli, araser la surface avec une règle métallique
- Décoffrer le moule après 24 heures
- Répéter la même opération en changeant le paramètre étudié

Remarque : les éprouvettes sont confectionnées de la même manière aussi bien pour les essais mécaniques que pour les essais de retrait, ainsi que les essais aux hautes températures. Douze éprouvettes sont confectionnées pour chaque composition.

2-3-4-Conservation des éprouvettes

- ☒ **-Conservation à l'eau** : après décoffrage, les éprouvettes sont complètement immergées dans un bac, qui contient de l'eau potable du laboratoire, afin d'éviter l'évaporation prématurée de l'eau (figure III-4)



Photo III-4



Photo III-5.

Remarque : Les éprouvettes restent conservées dans l'eau pendant 27 jours et ne seront sorties qu'une journée avant l'écrasement.

3-Description des essais expérimentaux employés

- Essai pour l'évaluation de la résistance à la traction et à la compression
- Essai pour l'évaluation du retrait;
- Essai pour l'évaluation de la résistance à la traction aux hautes températures
- Essai pour l'évaluation de la résistance à la compression aux hautes températures

3-1-Mesure des résistances à la traction et à la compression

- Équipements utilisés

- Une machine d'essai (figure III-6) permettant d'appliquer des charges à 150 KN. La vitesse de mise en charge choisie est de 0.05 MPa conformément à la norme.
- Dispositif de la traction (figure III-7)
- Dispose de dispositif de la compression (figure III-8),



Photo III-6

Photo III-7

Photo III-8

- Technique de l'essai

La rupture de chaque éprouvette en flexion est effectuée conformément au schéma décrit sur la figure suivante :

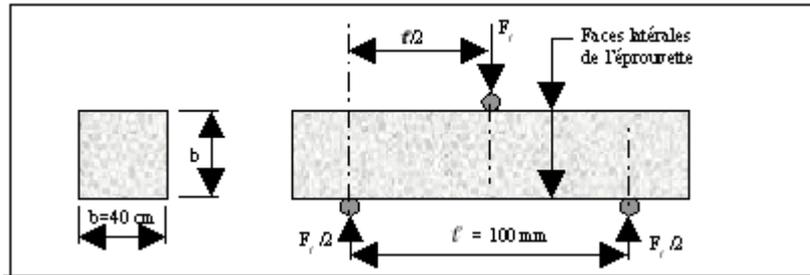


Figure III-1 Essai de résistance à la flexion.

Si F_f est la charge de rupture de l'éprouvette en flexion, le moment de rupture vaut $F_f \cdot l/4$ et la contrainte de traction correspondante sur la face inférieure de l'éprouvette est :

$$R_f = \frac{1.5 F_f \cdot l}{b^3} \quad \text{III-1}$$

Cette contrainte est appelée la résistance à la flexion. Compte tenu des dimensions b et l , Si F_f est exprimée en newtons (N), cette résistance exprimée en méga pascals (MPa) vaut :

$$R_f \text{ (MPa)} = 0,234 F_f \text{ (N)}. \quad \text{III-2}$$

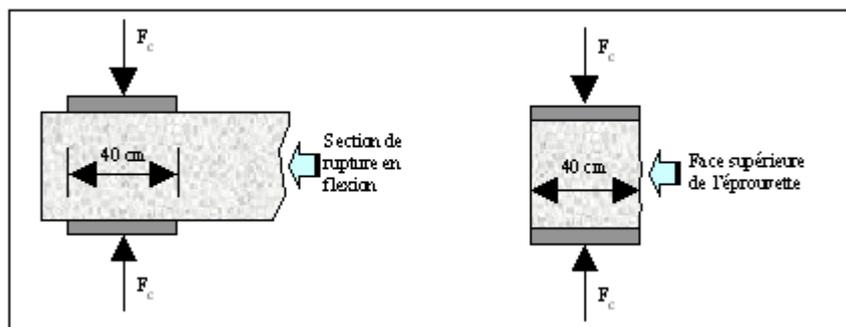


Figure III-2 Dispositif de rupture en compression.

Les demis prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme indiquée sur la figure III-2. Si F_c est la charge de rupture, la contrainte de rupture vaudra :

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

III-3

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si F_c est exprimée en newton, cette résistance exprimée en mégapascals vaut :

$$R_c (MPa) = \frac{F_c (N)}{1600} \quad \text{III-4}$$

Les résultats obtenus pour chacun des 6 demi prismes sont arrondis à 0,1 MPa près et on en fait la moyenne. Si l'un des 6 résultats diffère de $\pm 10\%$ de cette moyenne, il est écarté et la moyenne est alors calculée à partir des 5 résultats restants. Si à nouveau un des 5 résultats s'écarte de $\pm 10\%$ de cette nouvelle moyenne, la série des 6 mesures est écartée. Auquel cas il convient de chercher les raisons de cette dispersion : malaxage, mis en place, conversation.

Lorsque le résultat est satisfaisant, la moyenne ainsi obtenue est la résistance du ciment à l'âge considéré. [DUPAIN -2000]

3-2-Mesure du retrait

- **Objectif de l'essai** : Il s'agit d'évaluer l'effet du type de sable sur le retrait.

- **Principe de l'essai** : On compare, à différents temps t , la variation de longueur d'une éprouvette $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$, par rapport à sa longueur à un temps t_0 pris pour origine.

- **Equipement utilisé** : pour les essais caractérisant le retrait, nous avons utilisé un extensomètre à comparâitre digital qui nous permet de donner directement la variation dimensionnelle (*PHOTO III-9*).



Photo III-9 : Extensomètre

Photo III-10 : Eprouvettes

Chapitre IV

Synthèses et interprétation des
résultats

1 -Introduction

Ce chapitre consiste à présenter d'une façon globale les résultats obtenus et leur interprétation.

A partir des résultats des essais expérimentaux, nous tentons d'établir des comparaisons; et des relations qui peuvent exister entre les différentes propriétés à l'ambiance étudiée à savoir :

- La résistance à la traction et à la compression du mortier avec la variation de la nature du sable et le rapport E/C.
- Le retrait du mortier à base de différents sables.

2-Présentation et analyse des résultats expérimentaux

Dans un premier temps nous présentons et discutons les résultats obtenus pour les résistances à la traction et à la compression.

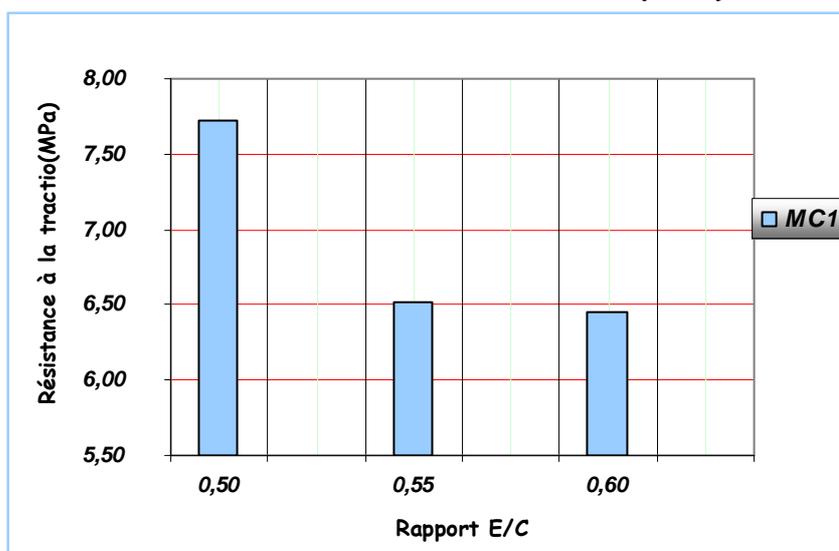
L'ensemble des résultats présentés dans cette partie se rapporte aux essais réalisés sur **3 éprouvettes** prismatiques de dimension $4x4x16cm^3$ pour chaque rapport *E/C* et pour chaque type de sable.

2-1-Résistance mécanique: la résistance mécanique en flexion trois points de mortiers obtenus sur trois éprouvettes prismatiques $4x4x16cm^3$ et en compression obtenus sur six demi prismes issus des essais précédents sont indiqués dans les tableaux **IV-1** et **IV-2**.

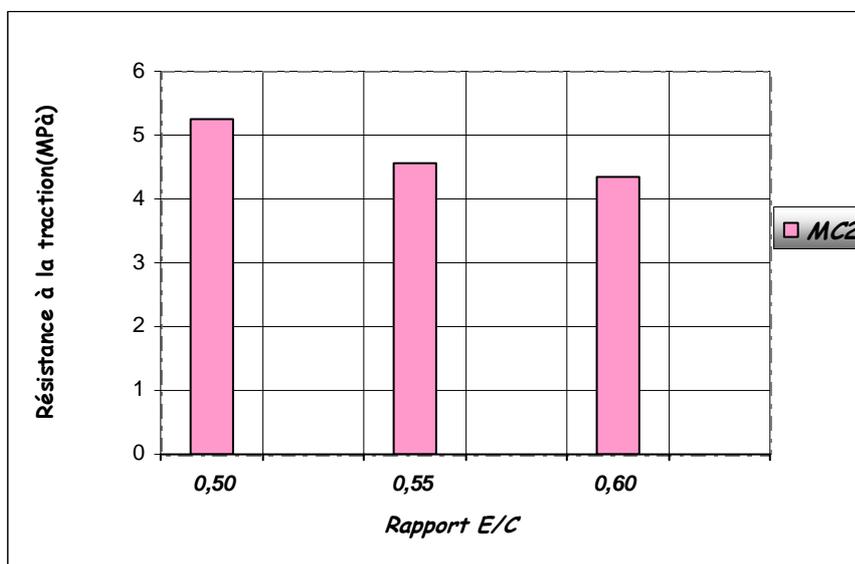
2-1-1-Résistance à la traction

Tableau IV-1 : Résistance à la traction des différents mortiers

Rapport E/C	Résistance à la traction (MPa)				
	Types de mortier				
	MC1	MC2	MC3	MM	MN
0.50	7,716	5,235	6,727	4,364	4,315
0.55	6,522	4,562	5,317	4,210	4,268
0.60	6,449	4,330	4,248	4,017	3,955

☒ -Mortier à base du sable de la carrière «1» (MC1)**Figure IV-1:** Evolution de la résistance à la traction (MC1)

La résistance à la traction par flexion diminue lorsque le rapport E/C est plus grand (ce qui est logique). Elle diminue de **15.47 %** pour E/C=0.55 et de **16.42 %** pour E/C = 0.60 par rapport à la résistance de rapport E/C= 0.50.

☒ -Mortier à base du sable de la carrière «2» (MC2)**Figure IV-2:** évolution de la résistance à la traction (MC2)

La résistance diminue de **12.85%** pour $E/C=0.55$ et de **17.29%** pour $E/C = 0.60$ par rapport à la résistance pour $E/C= 0.50$

☒ - Mortier à base du sable de la carrière «3» (MC3)

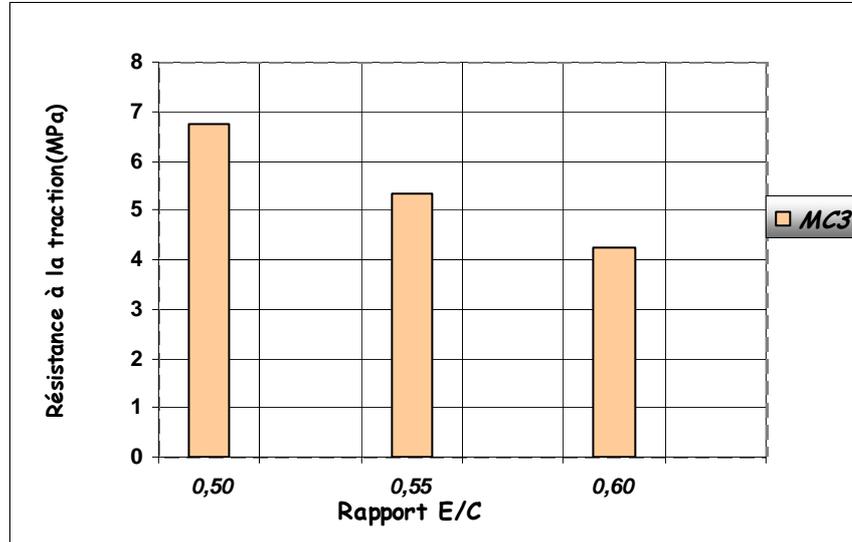


Figure IV-3: Evolution de la résistance à la traction (MC3)

La résistance diminue de l'ordre de **20.96. %** pour $E/C=0.55$ et de **36.85%** pour $E/C = 0.60$ par rapport à la résistance pour $E/C= 0.50$.

☒ -Mortier à base de sable de mer (MM)

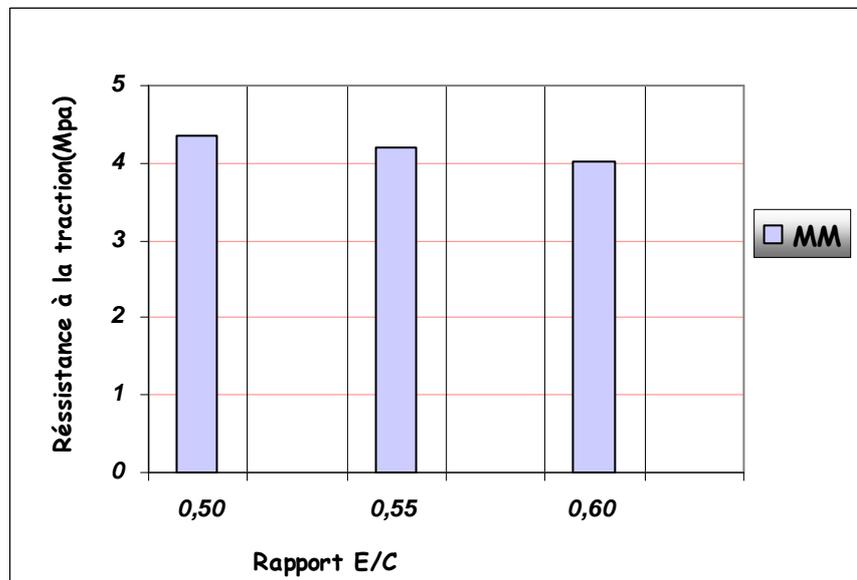


Figure IV-4: Evolution de la résistance à la traction (MM)

La résistance démine de l'ordre de **3.52. %** pour $E/C=0.55$ et de **7.95%** pour $E/C = 0.60$ par rapport à la résistance pour $E/C= 0.50$.

☒ - Mortier à base de sable normalisé (MN)

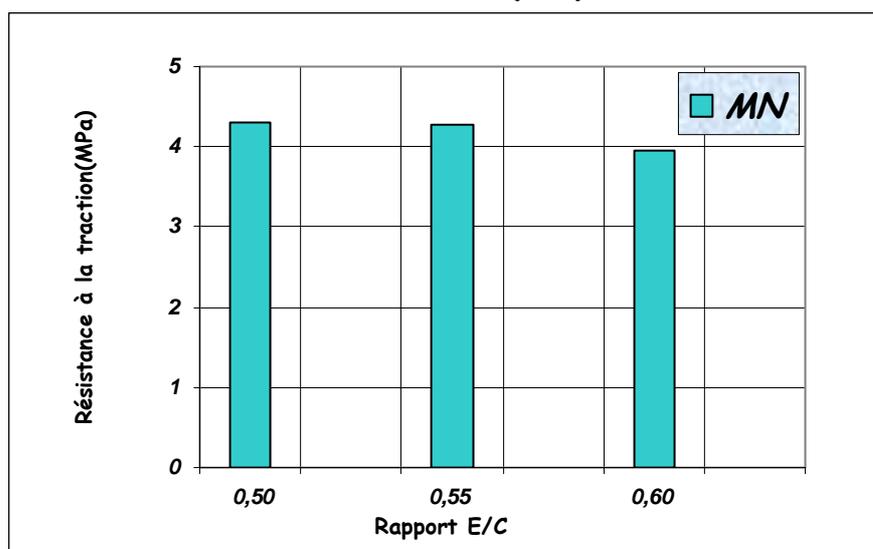


Figure IV-5: Evolution de la résistance à la traction (MN)

La résistance diminue de 0.97 % pour $E/C=0.55$ et de 8.34% pour $E/C = 0.60$ par rapport à la résistance pour $E/C= 0.50$.

☒ - Les cinq Mortiers à base de sables différents sont représentés dans La figure suivante :

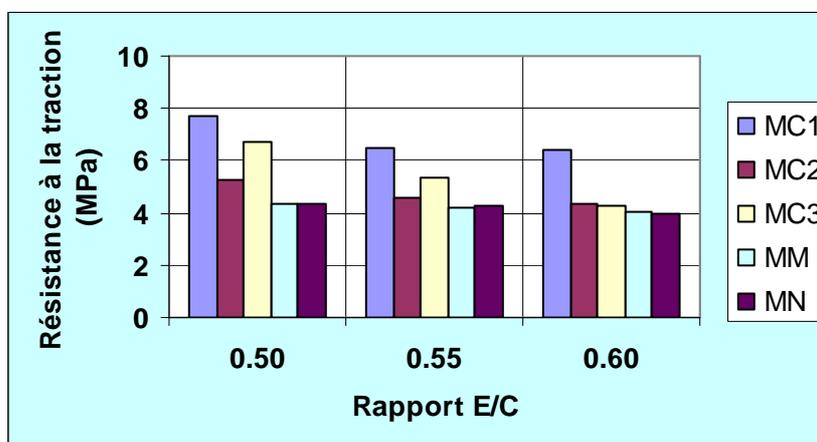


Figure IV-6: Comparaison de la résistance à la traction des différents mortiers

Commentaire:

- La résistance à la traction du mortier à base de sable C1 (MC1) est supérieure à celle des MC2; MC3; MM; MN pour tous les rapports E/C.
- La plus grande diminution de la résistance à la traction correspond au sable de carrière MC3. Elle est respectivement de 20.96 % et 36.85 % pour E/C=0.55 et E/C=0.60 par rapport à E/C=0.50.
- Le mortier à base de sable normalisé présente l'affaiblissement le plus faible (0.97% et 8.34%).
- La résistance du mortier à base de sable de carrière est supérieure, au maximum, à celle du mortier à base de sable de mer de 43.44 %.

2-1-1-2 Conclusion

- les résultats indiquent une réduction de la résistance à la traction lorsque le rapport E/C augmente, cela est conforme aux résultats connues.
- Les résultats mettent en évidence une diminution de la résistance du mortier à base de sable de mer, par rapport aux mortiers à base de sables de carrière;
- Les résultats expriment l'influence directe de la granulométrie du sable sur les propriétés mécaniques du mortier (résistance à la traction et à la compression); est cela est confirmé par les exigences normatives de module de finesse, pour un module de finesse grand, une résistance mécanique élevée.

2-1-2-Résistance à la compression : les résultats sont exprimées dans le tableau suivant:

Tableau IV-2 : Résistance à la compression

Rapport E/C	Résistance à La compression (MPa)				
	TYPES DE MORTIERS				
	MC1	MC2	MC3	MN	MM
0.50	41,372	48,714	48,358	29,250	19,159
0.55	32,442	43,993	35,476	23,547	17,129
0.60	31,769	38,302	20,814	20,721	16,269

☒ -Mortier à base de sable de la carrière «1» (MC1)

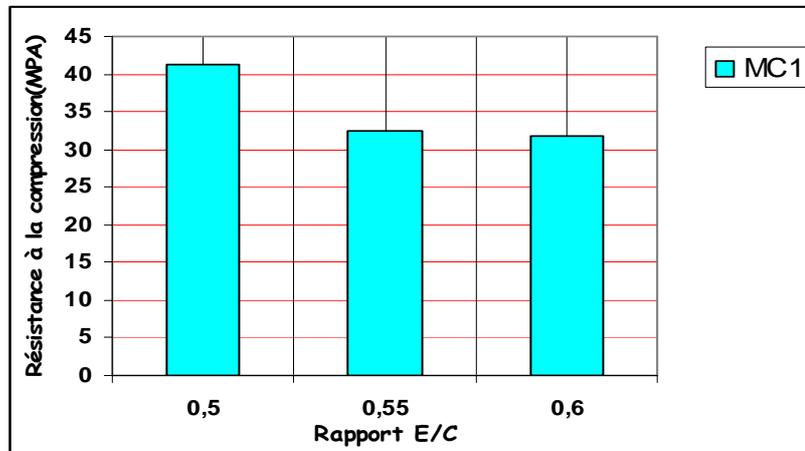


Figure IV-7: Evolution de la résistance à la compression (MC1)

Commentaire:

- la résistance à la compression diminue lorsque le rapport E/C est plus grand.
- La résistance diminue de **21.58 %** pour E/C=0.55 et de **23.21%** pour E/C = 0.60 par rapport à la résistance du rapport E/C= 0.50.

☒ -Mortier à base de sable de carrière «2» (MC2)

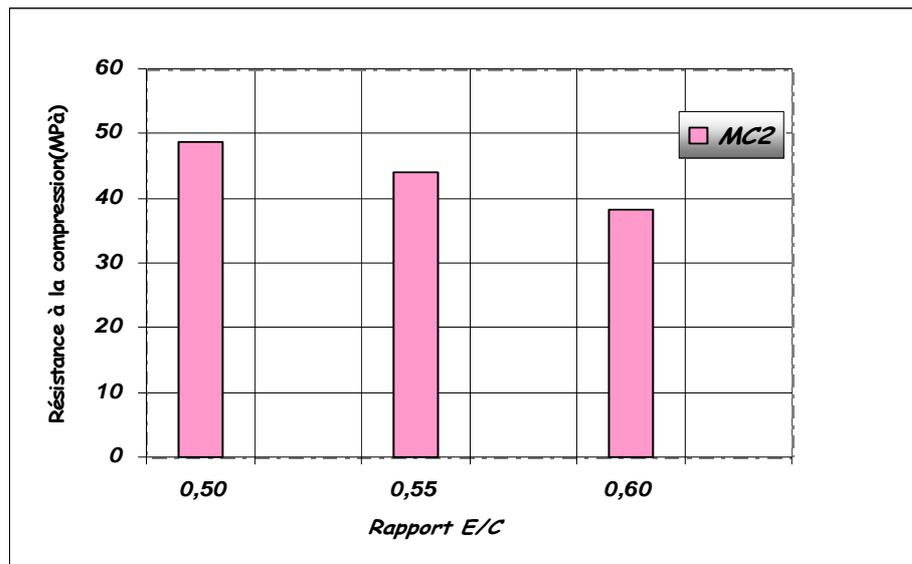


Figure IV-8 - Evolution de la résistance à la compression (MC2)

- La résistance diminue de **9.69 %** pour $E/C=0.55$ et de **21.37%** pour $E/C = 0.60$ par rapport à la résistance pour $E/C= 0.50$.

☒ -Mortier à base de sable de carrière«C3» (MC3)

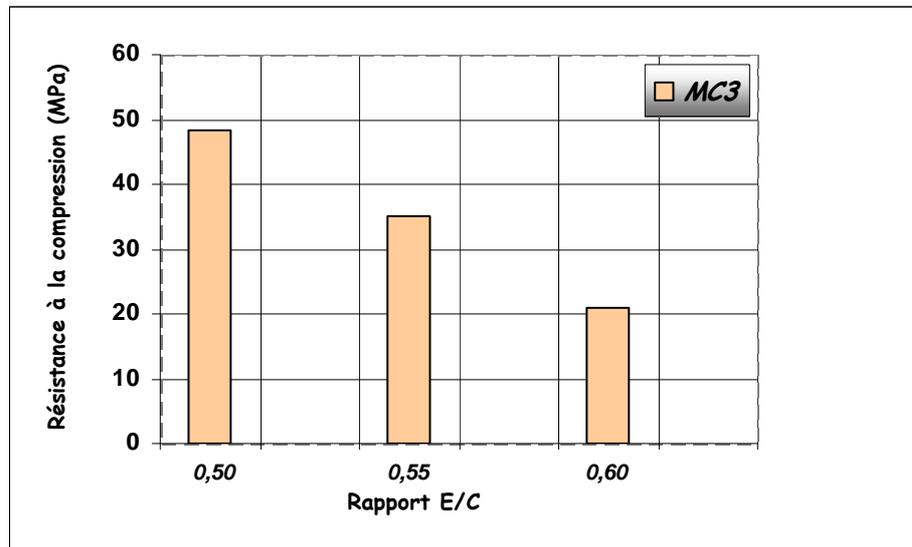


Figure IV-9 - Evolution de la résistance à la compression (MC3)

La résistance diminue de l'ordre de **26.63 %** pour $E/C=0.55$ et de **56.95%** pour $E/C = 0.60$ par rapport a la résistance pour $E/C= 0.50$

☒ -Mortier à base de sable mer (MM)

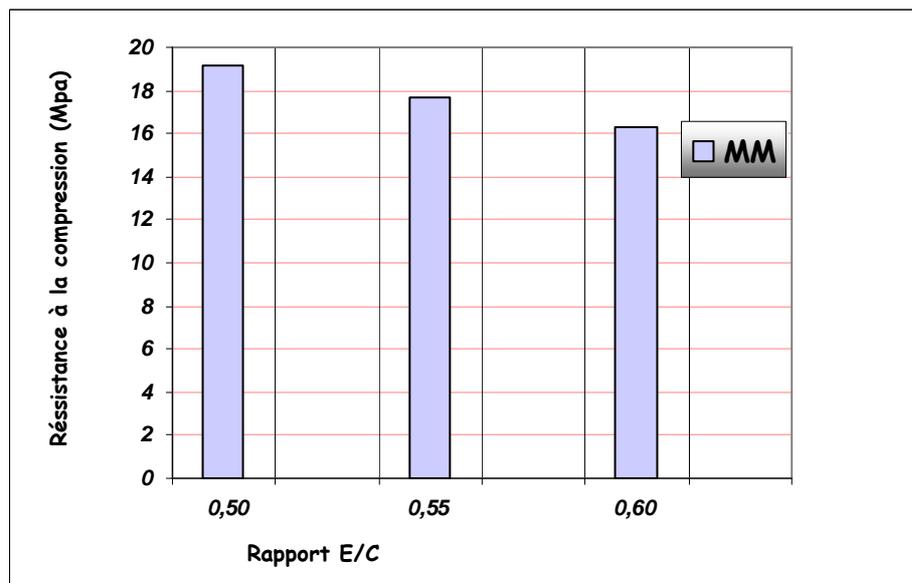


Figure IV-10 - Evolution de la résistance à la compression (MM)

La résistance diminue de **10.59%** pour $E/C=0.55$ et de **15.08 %** pour $E/C = 0.60$ par rapport à la résistance pour $E/C= 0.50$.

☒ -Mortier à base de sable normalisé (MN)

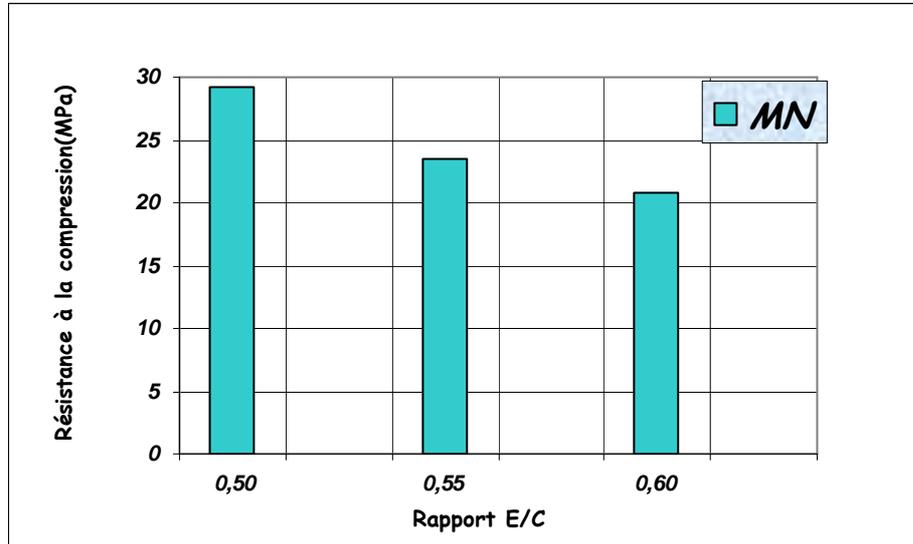


Figure IV-11 - Evolution de la résistance à la compression (MN)

La résistance diminue de **19.49 %** pour $E/C=0.55$ et de **29.15%** pour $E/C = 0.60$ par rapport à la résistance pour $E/C= 0.50$.

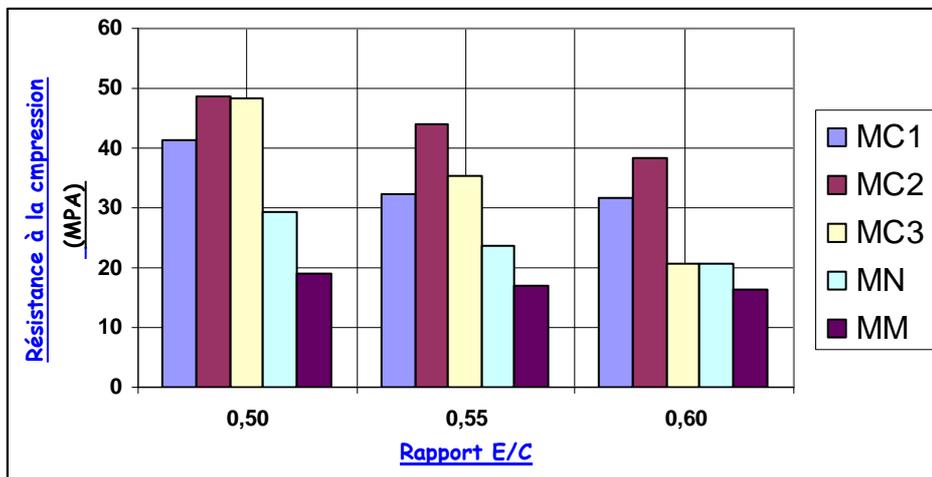


Figure IV-12: Comparaison de la résistance à la compression des différents mortiers

Commentaire:

- La résistance à la compression du mortier à base de sable C2 (MC2) est supérieure à celle des MC1; MC3; MM; MN pour tous les rapports E/C.
- La plus grande diminution de la résistance à la compression correspond au mortier à base de sable de carrière MC3. Elle est respectivement de 26.63 % et 56.95 % pour E/C=0.55 et E/C=0.60 par rapport à E/C=0.50.
- Le mortier à base de sable de mer présente l'affaiblissement le plus faible (10.59% et 15.08%).
- La résistance du mortier à base de sable de carrière est supérieure, au maximum, à celle du mortier à base de sable de mer de 39.62 %.

2-1-2-1-Conclusion

- les résultats indiquent une réduction de la résistance à la compression lorsque le rapport E/C augmente (excès d'eau conduit à une porosité élevée, qui s'explique par une faible compacité, alors diminution de la résistance) ; cela est conforme aux résultats disponibles.
- Les résultats mettent en évidence une diminution de la résistance du mortier à base de sable de mer, par rapport aux mortiers à base de sable de carrière. Ces derniers sont d'origine calcaire.
- Les résultats expriment l'influence directe de la granulométrie du sable sur les propriétés mécaniques du mortier. (variation du module de finesse d'une moyenne de 52.20% par rapport aux sables de carrières).
- On note toutefois, que la résistance en compression la plus importante est celle du mortier MC2 alors MC1 donne la résistance maximale en traction.

2-2-Retrair

2-2-1- Les paramètres retenus : notre étude expérimentale a porté sur une variété de mortiers, cette variété est telle que chaque type de mortier est reconnu par :

- la nature de granulats qui entre dans sa composition ;
- le dosage en eau (03 dosages) 0.50; 0.55et 0.60
- le mode de conservation ambiante (20 ° C, 55 % plus ou moins).

2-2-2-Les essais réalisés

Les essais réalisés ont été conduits selon les prescriptions des normes en vigueur et réalisés au niveau du laboratoire de génie civil et hydraulique de l'université de 08 mai 1945 Guelma. Ils sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV -3: Essais réalisés du retrait

N° d'ordre	Nombre d'éprouvettes	Corps d'éprouvettes	Conservation	Type d'appareil	Mesure effectuée	Age de mesure
1	3	4x4x16 cm ³	T° et humidité au labo.	Extensomètre	Déformation superficielle et perte de poids	Suivi continu jusqu'à 120 jours

Donc, même si les conditions de conservation ne sont pas contrôlées, les différents mortiers ont été testés dans les mêmes conditions.

2-2-3-Résultats et discussions:

Les résultats sont présentés dans les tableaux qui suivent :

Tableau IV-4: Résultats du retrait (E/C = 0.50)

Retrait (µm/m)					
Age (jours)	Type de Mortier (RAPPORT E/C = 0,50)				
	MC1	MC2	MC3	MM	MN
3	-126,67	-86,67	-80,00	-26,67	-20,00
4	-180,00	-150,00	-143,33	-56,67	-73,33
7	-200,00	-240,00	-226,67	-333,33	-163,33
14	-256,67	-340,00	-326,67	-580,00	-313,33
28	-526,67	-593,33	-530,00	-710,00	-553,33
56	-556,00	-660,00	-646,67	-830,00	-600,00
84	-593,33	-676,67	-633,33	-1 016,67	-646,67
112	-571,67	-728,33	-692,67	-1 063,67	-648,33
120	-583,33	-736,67	-696,67	-1 053,33	-633,33

Tableau IV-5: Résultats du retrait ($E/C = 0.55$)

Retrait ($\mu\text{m}/\text{m}$)					
Age (jours)	Type de mortier (rapport $E/C = 0,55$)				
	MC1	MC2	MC3	MM	MN
3	-136,67	-90,00	-90,00	-40,00	-30,00
4	-173,33	-150,00	-143,33	-96,67	-80,00
7	-200,00	-223,33	-223,33	-183,67	-213,33
14	-260,00	-310,00	-300,00	-500,00	-376,67
28	-550,00	-636,67	-603,33	-600,00	-610,00
56	-576,67	-706,67	-693,33	-800,00	-686,67
84	-613,33	-720,00	-716,67	-836,67	-756,67
112	-564,00	-743,33	-716,67	-1 063,67	-884,00
120	-596,67	-743,33	-718,83	-1 053,33	-896,67

Tableau IV-6 : Résultats du retrait ($E/C = 0.60$)

Retrait ($\mu\text{m} / \text{m}$)					
Age (jours)	Type de Mortier, (RAPPORT $E/C = 0,60$),				
	MC1	MC2	MC3	MM	MN
3	-123,33	-83,33	-100,00	-23,33	-63,33
4	-180,00	-116,67	-110,00	-50,00	-120,00
7	-210,00	-210,00	-203,33	-250,00	-233,33
14	-293,33	-310,00	-326,67	-460,00	-506,67
28	-576,67	-613,33	-635,00	-640,00	-663,33
56	-640,00	-709,67	-693,33	-896,67	-740,00
84	-683,33	-730,00	-710,00	-1 026,67	-803,33
112	-603,33	-782,67	-711,67	-1 105,33	-1 010,00
120	-623,33	-783,33	-711,67	-1 105,33	-1 030,00

Les figures qui suivent donnent la variation du retrait suivi jusqu'à cent vingt jours en fonction de la nature des granulats et le rapport E/C.

☒ - Mortier à base de sable de la carrière «C1» MC1

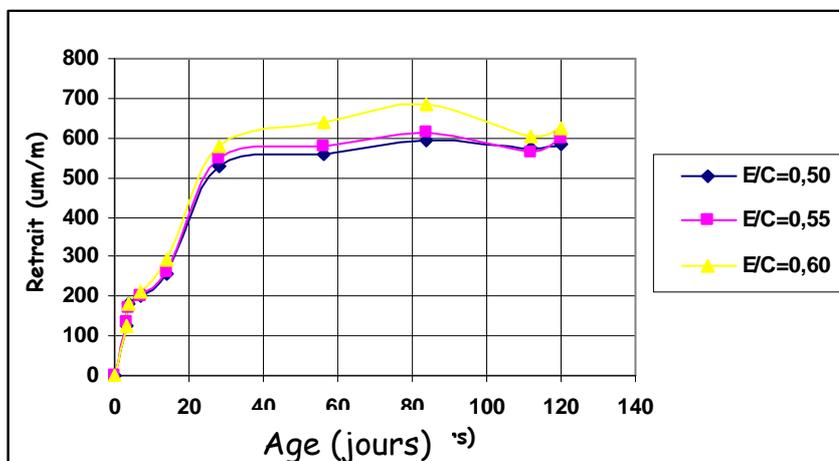


Figure IV-13: résultats du retrait de mortier MC1

Commentaire :

Après l'analyse des différents résultats obtenus sur les trois compositions du mortier contenant différents dosages, il en ressort que :

- le retrait augmente avec le temps;
- le retrait croît avec le temps pour les trois compositions ;
- le retrait croît avec l'augmentation du rapport E/C après 28 jours ;
- le retrait croît linéairement pendant les premières semaines;
- le retrait se stabilise pratiquement dans les 120 jours.

☒ - Mortier à base de sable de la carrière «C2» (MC2)

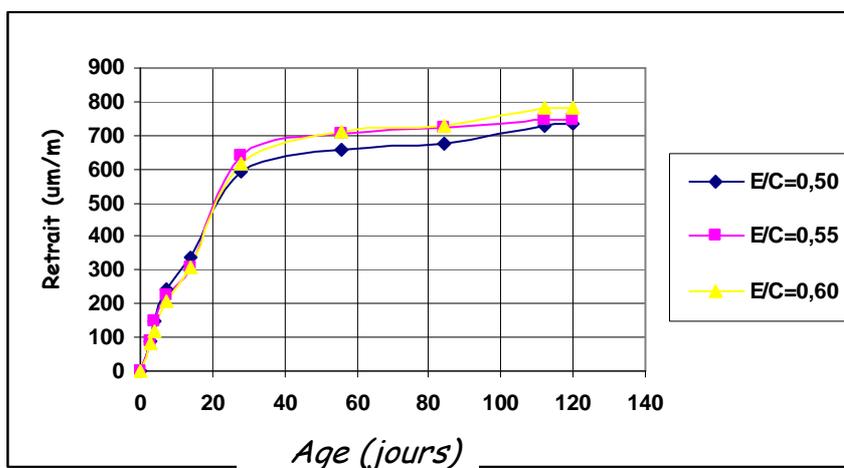


Figure IV-14: Résultats du retrait du mortier MC2

Les résultats des retraits sont presque identiques pour les trois rapports E/C.

☒ -Mortier à base de sable de la carrière «C3» (MC3)

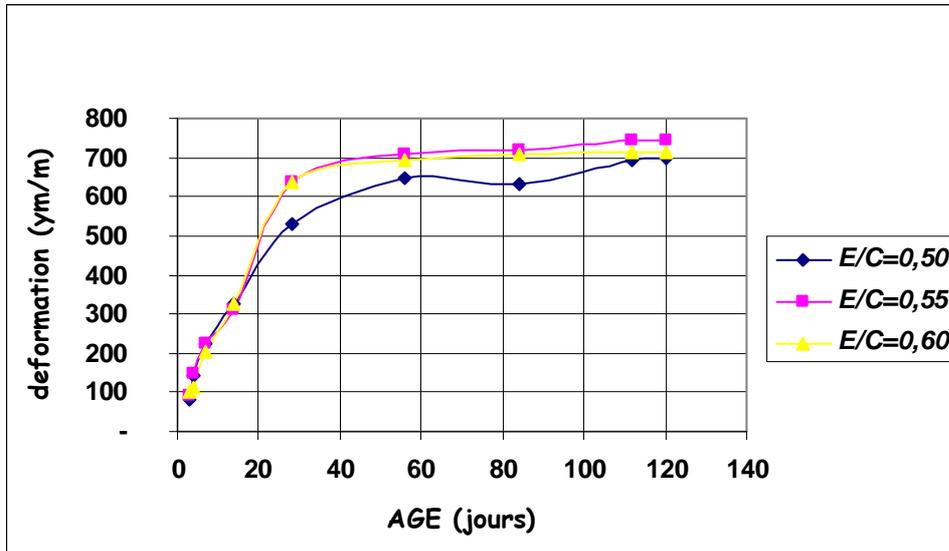


Figure IV-15 : Résultats du retrait du mortier MC3

Mêmes remarques que le mortier MC1

☒ -Mortier à base de sable de mer MM

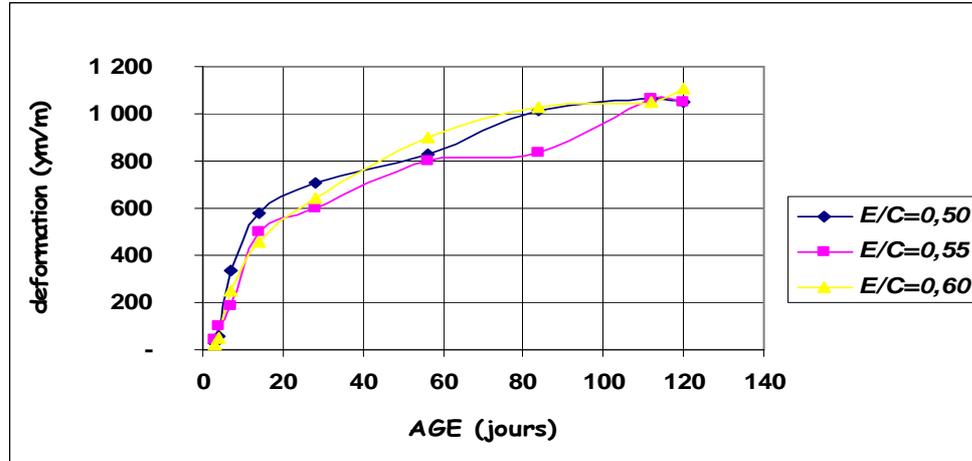


Figure IV-16 : Résultats du retrait de mortier (MM)

- A 80 jours le retrait atteint les 1000 $\mu\text{m/m}$.

☒ -Mortier à base de sable normalisé (MN)

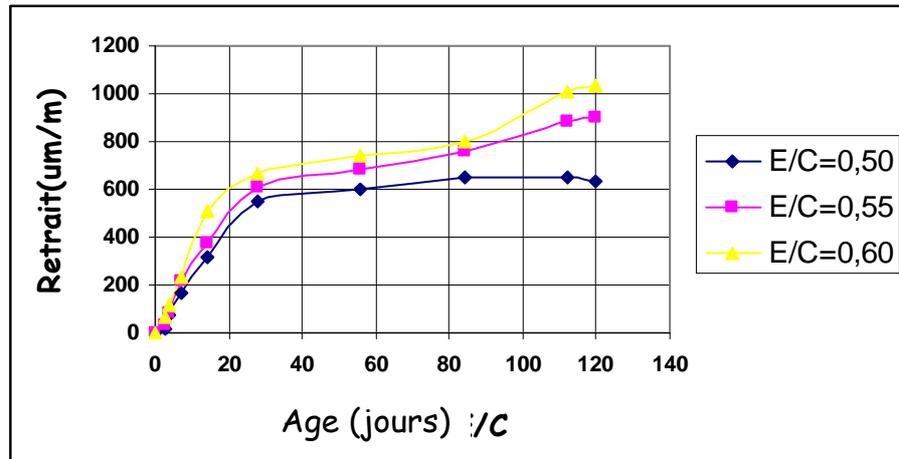


Figure IV-17: Résultats du retrait du mortier (MN)

- le retrait est moins important pour E/C= 0.50 que pour les deux autres rapports E/C.

☒ - Evolution du retrait des différents mortiers

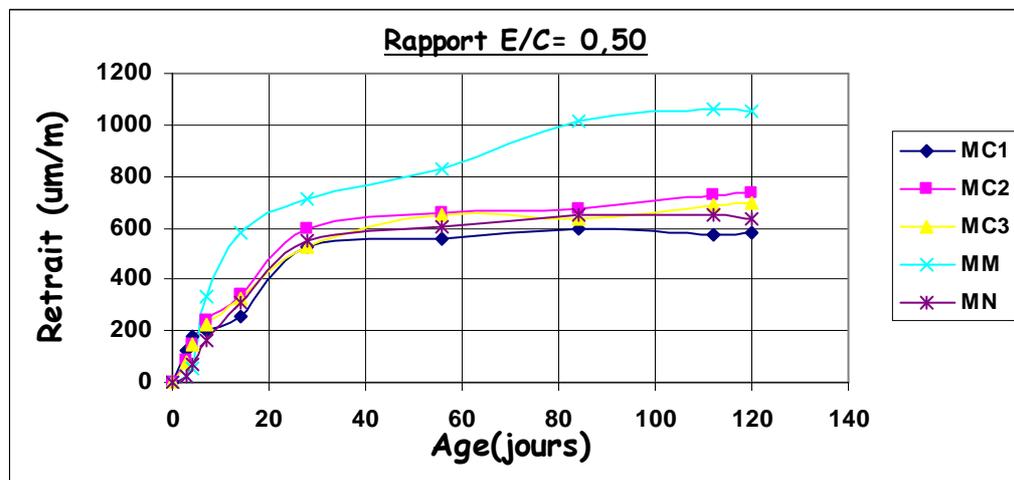


Figure IV-18: Evolution du retrait de différents mortiers E/C= 0.50

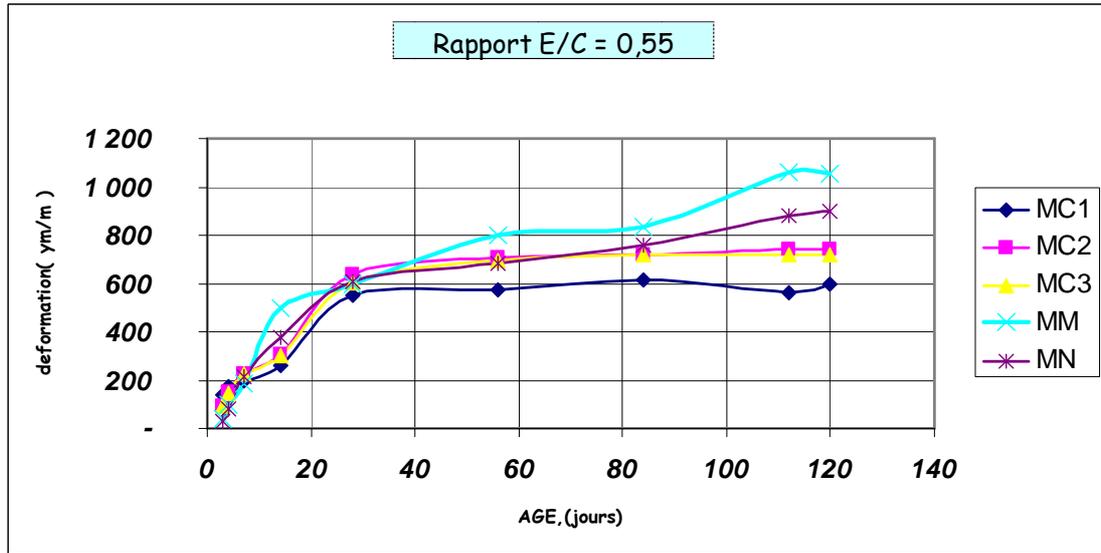
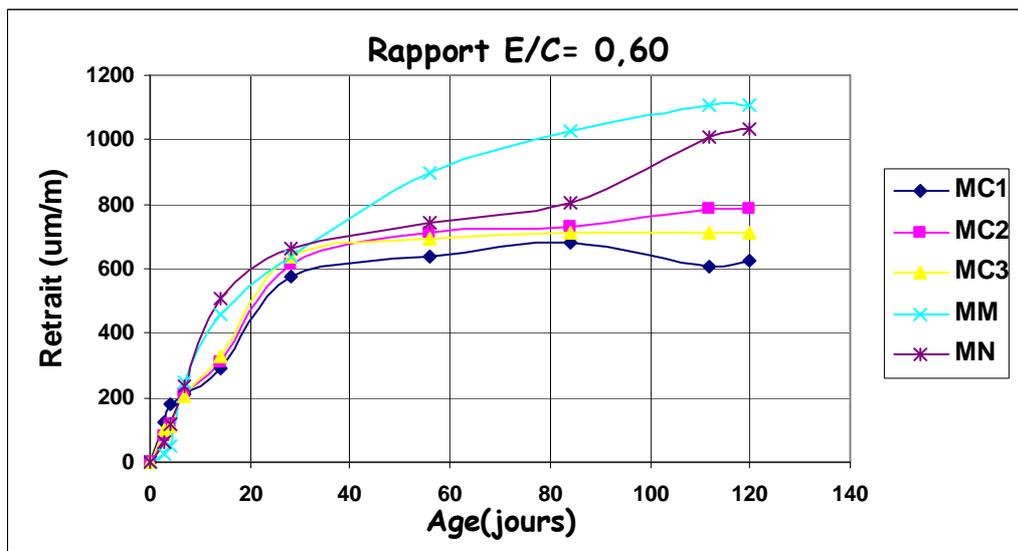


Figure IV-19: Evolution du retrait de différents mortiers E/C= 0.55



FigureIV-20 : Evolution du retrait de différents mortiers E/C= 0.60

3- Conclusion

Après analyse des différents résultats obtenus sur les différentes compositions du mortier; il en ressort que :

➤ influence du rapport E/C

Pour un dosage en ciment constant, le retrait est très modifié par une augmentation du dosage en eau pour les mortiers de carrière. Ces derniers sont de nature calcaire. Il faut noter que cette différence reste faible, 6% pour une augmentation du rapport E/C de 20%. On note aussi que le retrait avant prise, dû essentiellement à la perte prématurée d'une partie de l'eau de gâchage par évaporation, n'est pas quantifié. Les plots nécessaires aux mesures ne sont collés qu'une fois que le mortier est assez dur.

➤ Influence de la nature du sable

- Pour le rapport E/C=0.5, les mortiers à base de sable de mer et normalisé présentent les retraits les plus importants (à 120 jours). Avec l'augmentation de E/C cet écart diminue.
- L'utilisation du sable de mer provoque un retrait plus important par rapport aux sables de carrières (sable très fin).
- Les granulats issus de concassage dont nous avons trouvé une faible proportion d'éléments fins présentent moins de retrait.
- Plus le diamètre maximal du granulat est élevé et moins il y'a de retrait.
- La diminution du retrait est liée à la nature du sable et à l'accroissement du module de finesse (diamètre des grains). Ce résultat est en accord avec ceux données par la littérature [NEV-2000].
- Donc le dosage en eau, la propreté des sables, la forme et la dimension des granulats influent sur le retrait des mortiers et donc sur celui des bétons.

Chapitre V

Evolution des résistances
Des mortiers aux hautes
Températures

1-Introduction

La température est un paramètre essentiel à l'étude du comportement des ouvrages en béton, la prévision de ce comportement implique la connaissance de l'évolution du champ thermique et des variations des propriétés mécaniques. Le béton est considéré comme un mélange tri-phasique, l'eau étant un paramètre fondamental dans les évolutions des caractéristiques des bétons (mortiers). Ainsi la variation des propriétés thermo physiques et mécaniques en fonction de la température s'effectuent généralement selon trois paliers :

- la température ambiante (milieu poreux humide)
- le domaine 60°C-130°C (vaporisation de l'eau et transfert de masse important).
- La zone d'évolution vers l'état quasi-sec (au delà de 130°C).

2-Evolution des propriétés des bétons et des mortiers avec la température

L'élévation de la température entraîne une déshydratation des composés hydratés de la pâte de ciment durcie et éventuellement une altération des granulats. Il s'ensuit une formation d'eau libre dans les réseaux poreux du matériaux successible de s'évaporer et donc de générer une perte de masse pour un échantillon donné. Les modifications microstructurales accompagnent cette déshydratation entraînent également une modification des propriétés mécaniques : thermiques et de transport du béton (mortier).

Feraille et Fresnet (Feraille - Fresnet, 2000) ont schématisé les altérations intervenant aux différentes étapes de montée en température de la façon suivante :

1. A partir d'environ **60°C** ; déshydratation des silicates de calcium hydraté **C-S-H** et de l'étringite de la pâte de ciment.
2. Jusqu'à **105 °c**. évaporation de l'eau "libre" et de l'eau physiquement absorbée. La perte relative de masse est faible (< 1%). La structure poreuse est peu modifiée.
3. Entre **105 et 400 °c** ; la porosité totale mesurée par intrusion de mercure croie progressivement le réseau poreux interconnecté devient plus grossier les amas d'hydrate se densifient (*Khalifa 1998 et al*)

4. Entre 450 et 550 °c ; la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se décompose en chaux libre selon la réaction



Après la montée à ces température puis refroidissement ; on observe que la porosité totale a nettement augmenté, en particulier, on note une apparition importante des vides entre 1 et 10 mm (décomposition de la portlandite et formation d'un réseau des microfissures connectes du, en particulier, au déformations différentielles entre pâte et granulats (*Khalifa 1998 et al*). On observe une désolidarisation pâte - granulats et donc une désagrégation du matériau ; il s'ensuit une nette altération des propriétés mécaniques ; ces dégradation ne sont certainement pas due seulement au chauffage, mais également au refroidissement (réhydratations expansives envisageables).

5. autour de 570 °c, le quartz α , présent dans les granulats quartzitiques et basaltiques, se transforme en quartz β en générant un gonflement.
6. entre 600 et 700 °c les C-S-H se déshydratent (second étape) en silicate β calcique, on a donc libération d'eau chimiquement liée;
7. entre 700 et 900 °c le carbonate de calcium (constituant principal du granulats calcaires) se décompose selon la réaction :

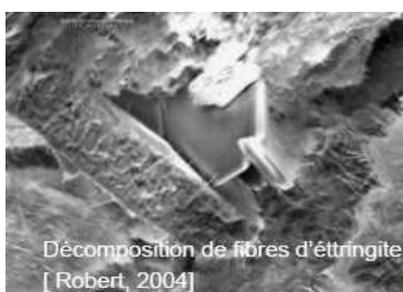
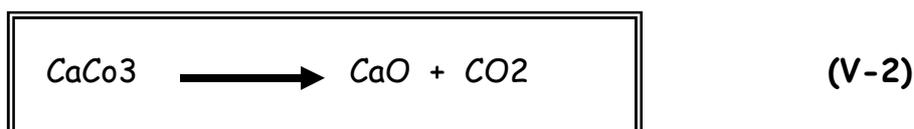


Photo V-1: décomposition d'ettringite

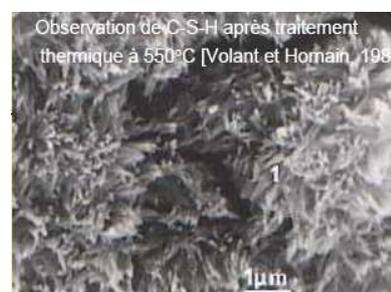


Photo V-2: observation c-s-h

3-Variation des propriétés mécaniques avec la température

3-1-Résistances à la compression

La résistance en compression à haute température dépend essentiellement de la composition initiale du matériau (*type de granulat, rapport eau/ciment, liant, ajouts, ...*).

Plusieurs chercheurs ont étudié l'influence de la température sur la résistance à la compression ([Died-1992], [Noum-1995], ...). On distingue ici les essais réalisés à chaud et ceux réalisés après refroidissement.

En effet, il est montré que les éprouvettes à chaud ont une résistance en compression plus importante que les éprouvettes refroidies. De même, que les résistances à chaud présentent une augmentation entre 100 et 300 °C. Ces constatations peuvent être faites en particulier sur les courbes expérimentales de Harada et al. [Hara, 1973].

3-2-Résistance à la traction.

L'évolution de la résistance en traction en fonction de la température n'a pas été étudiée aussi souvent que celle de la résistance en compression. En effet la réalisation de l'essai de traction directe s'avère toujours difficile, Les essais par fendage sont les plus utilisées en pratique dans ce genre d'étude mais les résultats obtenus sont peu précis et surestiment les valeurs réelles. Les essais de tractions directes sont très difficiles à mettre en œuvre mais donnent des résultats fiables. Ces essais permettent l'évaluation de l'énergie de fissuration G_f à haute température qui est l'un des paramètres fondamentaux (avec le module élastique et la résistance en traction) requis pour la plupart des modèles de mécanique d'endommagement ou de mécanique de la rupture du béton.

L'essai de flexion 3 points est simple à mettre en œuvre et plus stable du point de vue mécanique. Peu de résultats sont aujourd'hui disponibles à haute température.

3-3-Influence de la nature des granulats

Si l'on caractérise la sensibilité mécanique du béton par le rapport de la résistance ultime en compression au module d'élasticité (R/E) et si l'on étudie l'évolution de cette sensibilité en fonction de la température pour des bétons réalisés à partir des granulats d'origines différentes, on constate:

- l'existence de deux domaines critiques de température situés entre 50°C et 60°C et entre 110°C et 130°C

- la relative stabilité du phénomène *au delà de se dernier seuil* a l'exception des granulats silico-calcaire qui; au contraire, conserve un accroissement constant de R/E en fonction de la température.

Par raiilleur l'élévation de la température altère la résistance mécanique du béton et des mortiers du fait des désordres résultants d'une part, de la dilatation thermique, et d'autre part, de la transformation physique et chimique des granulats.

- de point de vue dilatation, on doit retenir que les bétons de granulats calcaires sont moins sensibles que les bétons de granulats siliceux.
- à l'égard des transformations physiques éventuelles, il faut souligner le cas du quartz subissant entre 550°C et 600°C une variation allotropique accompagnée d'une augmentation de volume génératrice d'altération de la résistance mécanique
- enfin; concernant les transformation chimiques, la décarbonatation des granulats calcaires (totalement effectuée à 900°C), réaction susceptible de retarder l'établissement du champ de température conduisant à la l'altération de la résistance mécanique. [Baron. 1982]

Le type de granulats influence la tenue du béton aux températures élevées. La perte de résistance est considérablement moindre lorsque les granulats ne contiennent pas de silice (certaines formes de silice subissent un changement dimensionnel); c'est le cas par exemple de calcaire ; des roches ignées basiques et particulièrement des briques concassées et du laitier de haut fourneau. Le béton de faible conductivité thermique présente une meilleure résistance au feu de sorte que, par exemple, un béton léger résiste mieux au feu qu'un béton ordinaire.

ABRAMS a confirmé qu'à des températures supérieures à environ 430°C, un béton à base de granulats siliceux perd un pourcentage plus élevé de sa résistance que des bétons confectionnés avec des granulats calcaires ou légers, mais, une fois la température de 800°C atteinte, le comportement de ces différents bétons est semblable.

Il est considéré qu'une température d'environ 600°C est la limite pour conserver l'intégrité structurale d'un béton confectionné avec du ciment portland.

Les bétons préparés avec des granulats siliceux ou calcaires présentent un changement de couleur lorsque la température augmente, comme ce changement dépend de la présence de certains composés à base de fer [NEV-2000]

4-Effet de la température sur les différents constituants du béton

Dans cette partie nous présentons les effets physico-chimiques de la température sur la pâte et sur les granulats, et puis nous étudions par la suite le comportement à haute température du béton (mortier) en tant que matériau composite.

4-1-Effet de la température sur la pâte de ciment.

Les principales modifications physico-chimiques se passent dans la pâte de ciment, en raison de la présence de l'eau sous différentes formes comme nous l'avons déjà dit. Entre 30 et 120 °C, l'eau libre et l'eau adsorbée s'évaporent, et au-delà de 105°C les hydrates commencent à se décomposer selon Hisldorf [Hisl-1967]. Cependant d'autres travaux, notamment ceux de Harmathy [Harm-1970], montrent que la déshydratation de la pâte de ciment débute dès l'évacuation de l'eau évaporable.

Ensuite à partir de 180°C et jusqu'au-delà de 800°C, le gel de CSH se décompose essentiellement en silicate de calcium β C₂S, β CS et en eau [Baza-1996] tandis que se forme l'hydroxyde de calcium CH qui donne l'oxyde de calcium Ca(OH)₂.

A l'aide de la diffraction aux rayons X, Piasta et al [Pias-1984] ont observé un phénomène d'hydratation additionnelle entre 200 et 300°C. Cette réaction se traduit par une diminution des phases β C₂S et C₃S ainsi qu'une faible augmentation de la quantité de Ca (OH)₂.

Concernant la porosité de la pâte de ciment à haute température, Fischer [Fisc-1970] a montré que celle-ci augmente d'une manière parabolique en fonction de la température. Cette augmentation, notée aussi dans d'autres travaux de Bazant et al [Baza-1982], est accompagnée d'une évolution de la taille moyenne des pores et du volume poreux total. Ceci est dû en partie à la rupture interne de la structure du gel de CSH lors du processus de déshydratation.

4-2-Effet de la température sur les granulats.

A haute température, les granulats se décomposent et subissent des transformations chimiques et minéralogiques importantes qui modifient les caractéristiques micro structurelles du matériau.

La majorité des granulats est généralement stable jusqu' à 600°C [Hara-1973]. Par contre, les granulats non siliceux peuvent subir des transformations chimiques et des réactions de décomposition à des températures inférieures à 600°C. Une analyse thermique différentielle (ATD) permet de déterminer, par des pics endothermiques et exothermiques, les températures auxquelles une instabilité peut survenir dans les granulats. Les analyses thermo gravimétriques (ATG), donnent des indicateurs de la progression des réactions de décomposition en mesurant les variations de masse des granulats au cours du chauffage.

La Figure V-1 montre les résultats de perte de masse de deux types de granulats (calcaire et siliceux). Les résultats d'analyses montrent que les granulats calcaires et siliceux sont relativement stables jusqu'à 500°C. Une autre transformation cristalline est présente entre 500 et 650 °C (**figure V-1**). A ces températures, le quartz- α se transforme en quartz- β sans changement de masse en revanche cette transformation est accompagnée d'une dilatation significative de l'ordre de 1 à 1,4 %. Dans le cas des granulats calcaires, la décarbonatation ($\text{CaCO}_3 \longrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) se produit entre 600 et 900°C. En phase de refroidissement, la chaux libre (CaO) formée lors de la réaction de décarbonatation, se combine avec l'humidité atmosphérique sous forme de Ca(OH)_2 avec une augmentation de volume de 44%. Ceci cause la fissuration et l'endommagement des structures en béton.

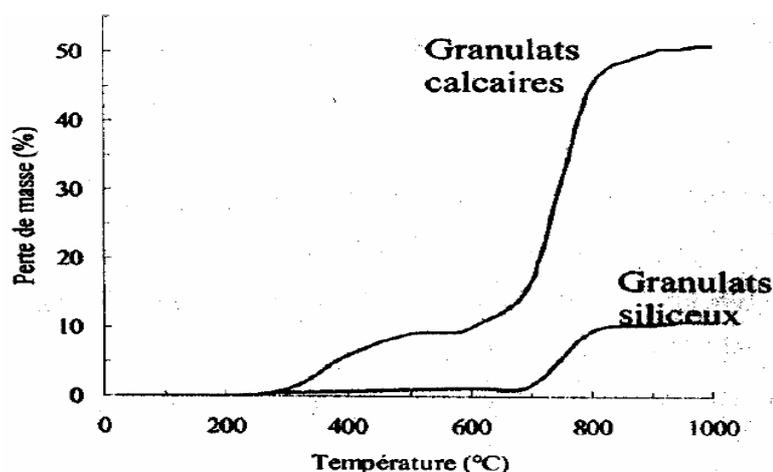


Figure V-1: Perte de masse de deux types de granulats (calcaire et siliceux) d'après Harmathy et Allen [Harm-1973].

4-2-1-Dilatation thermique des granulats

Les granulats sont les principaux constituants volumétriques du béton (mortier). Ils occupent entre 63 et 75% du volume total. Leur dilatation thermique jusqu' à 600 °C est le paramètre dominant de la déformation totale d'après Diederichs et al [Died-1989].

La dilatation thermique des granulats dépend de la nature de la roche et de la quantité de silice qu'il contient [Grif-1936]. En moyenne le coefficient de dilatation thermique des roches calcaires varie entre $5,5 \times 10^{-6}$ et $11,8 \times 10^{-6}$ °C⁻¹, et pour les roches à teneur important de silice tels que le quartz et le grés, le coefficient de dilatation thermique varie entre 9×10^{-6} et 10×10^{-6} °C⁻¹ pour des températures comprises entre 20 et 100°C.

Les roches volcaniques comme le basalte et le granite contenant de la silice ont un coefficient moyen de dilatation thermique de 7×10^{-6} °C⁻¹ entre 20 et 100°C. Le Tableau V-1 montre l'effet de la température sur le coefficient de dilatation thermique de quelque type de granulats cité précédemment.

Coefficient de dilatation thermique ($\times 10^{-6}$ Plages de température /°C)
(°C) Calcaire Granite Anorthosite

Plages de température (°C)	Coefficient de dilatation thermique ($\times 10^{-6}$ /°C)		
	Calcaire	Granite	Anorthosite
20-100	3	4	4
100-300	9	13,5	8,5
300-500	17	26	10
500-700	33	47,5	12,5

Tableau V. 1: Coefficient de dilatation thermique de quelques types de granulats [Sol-1984]

Les essais montrent que les déformations résiduelles des granulats calcaires sont deux fois plus grandes que celles des granulats silico-calcaires donc ces derniers se dilatent plus que le calcaire qui à son tour se dilate plus que le basalte [Died-1989].

4-3-Effets de la température sur la microstructure du béton

La Figure V-2 montre les résultats d'analyse thermo gravimétriques (ATG) menées par différents auteurs sur des bétons comprenant différents granulats. Ils permettent globalement de suivre l'évolution de la perte de masse au cours du chauffage, on observe ainsi une perte de l'eau libre entre 20°C et 200°C, Une perte de l'eau liée chimiquement entre 200 et 500°C et une perte liée aux dégradations chimiques des différents types de granulats au delà de 500°C.

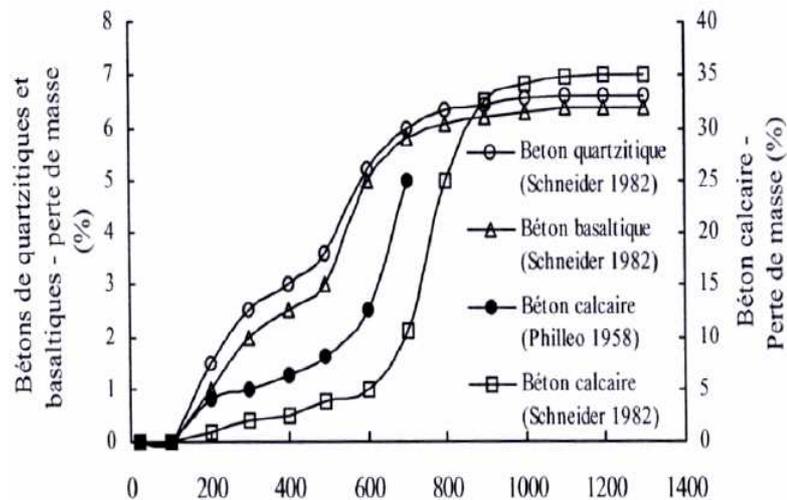


Figure V-2: Perte de masse des bétons de différents types granulats en fonction de la température D'après Schneider [Schn-1982]

4-3-1-Dégradation de l'interface pâte granulats à haute température

Dans les bétons, l'interface pâte - granulat est la partie la plus fragile, la plus poreuse et la mieux cristallisée. La présence de la fumée de silice réduit sa porosité et permet ainsi une bonne adhérence entre la matrice cimentaire et les granulats. Par contre cette zone est moins riche en gel de CSH. A haute température cette partie, appelée aussi l'auréole de transition, se dégrade progressivement en montant en température. Ceci est dû au départ de l'eau piégée dans les pores et liée chimiquement. Le retrait de dessiccation favorise le développement des fissures et au delà de 120 °C, les phénomènes de déshydratation engendrent une détérioration rapide au niveau de cette zone à cause de la dilatation différentielle entre la pâte de ciment (retrait) et les granulats (expansion). Plus le matériau est hétérogène plus la différence entre les coefficients de dilatation thermiques des constituants est importante.

Ces coefficients varient en fonction de la température, et dépendent du type granulat et de ciment utilisés. Ceci a été confirmé par Diederichs et al [Died-1992] en effectuant des essais de mesure du coefficient de dilatation thermique avec différentes natures de granulats.

5-Dégradations associées à l'action du feu

- Evolution des caractéristiques thermomécaniques (résistance, rigidité).....et physiques (dilatation, conductivité)
- Apparition possible des éclatements localisés ou encore d'écaillage.
- Changement de couleur, fissuration (chapitre 13, la durabilité des bétons face aux incendies)

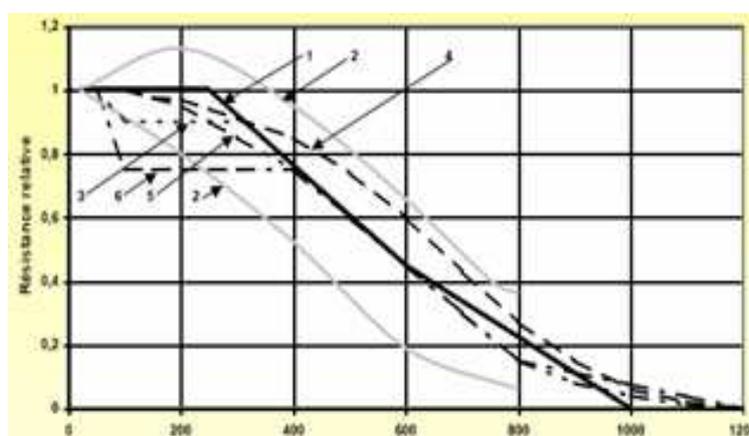


Figure V-3: Evolution des caractéristiques thermo mécaniques

- **Courbe 1** : résistance à la compression, DTU FB (norme 92-701).
- **Courbe 2** : courbes extrêmes pour marquer la dispersion.
- **Courbe 3** : résistance à la compression pour des bétons de caractéristiques supérieures à 60 MPa inférieure ou égale à 80 MPa, DTU FB(norme 92-701).
- **Courbe 4** : courbe donnant les valeurs de réductions de la résistances caractéristique à la compression du béton de densité normale réalisé avec des granulats calcaires norme NF EN 1992-1-2 euro code 2 partie comportement au feu [olivier-2008]
- **Courbe 5** : courbe donnant les valeurs de réductions de la résistances caractéristiques à la compression du béton de densité normale réalisé avec des granulats siliceux norme NF EN 1992-1-2 euro code 2 partie comportement au feu.
- **Courbe 6** : courbe donnant les valeurs de réductions de la résistances caractéristiques à la compression du béton, pour un béton appartenant à la classe 2 (**Béton C70/85, C80/95**), Norme **NF EN 1992-1-2** euro code 2 partie comportement au feu.

Partie- II : Techniques expérimentale

La présente étude expérimentale a été entièrement effectuée au sein du laboratoire de génie civil et hydraulique (LGCH) de l'université de 08 mai 1945 GUELMA.

1-Présentation du travail

Cette étude a été réalisée dans l'objectif principal est l'étude de l'évolution des résistances des mortiers aux hautes températures.

2-Essais et composition des mortiers

Les essais de traction et de compression à différentes températures ont été réalisés sur les mêmes compositions des mortiers étudiés précédemment (trois sables de carrière, un sable de mer et un sable normalisé).

Tableau V-II : composition du mortier

Constituants	Ciment (g)	Sable (g)	Eau (g)
Quantité	450	1350	225

Ces quantités représentent les quantités d'un mortier normal.

La confection des éprouvettes et leurs conservations a été faite de la même manière que pour les essais à température ambiante ; Les éprouvettes ont été chauffées pour chacune de cette formulation, une série de traction et de compression a été réalisé aux températures suivante : **200°C; 400°C et 600°C.**, les éprouvettes ont été confectionnés puis conservés à l'eau pendant 28 jours puis chauffés dans un four électrique *photoV-1* a. L'élévation de la température est de 2 °C par minute jusqu'à la température cible, en suite une conservation dans l'eau 24 h avant les essais.

Les photos suivantes montrent les dispositifs de chauffage des éprouvettes et d'essai.



Photo V-1

Dispositif de chauffage des éprouvettes



Photo V-1: Mortier MM à 400 °c



Photo V-2 Mortier MC1 à 400° et MM



Photo V-1 : Mortier MM à 600°C

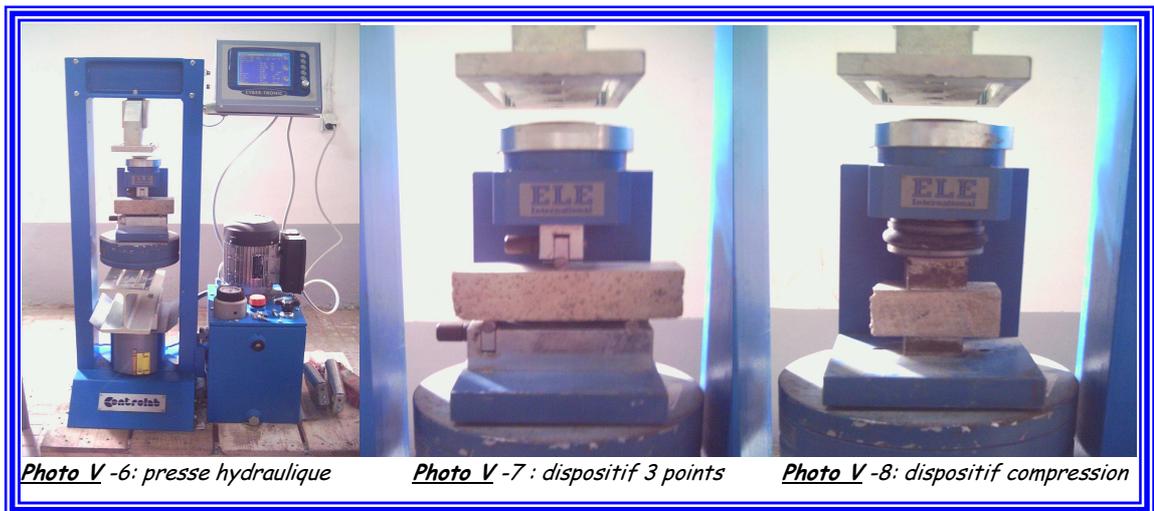


Photo V -6: presse hydraulique

Photo V -7 : dispositif 3 points

Photo V -8: dispositif compression

3- Résultats et discussion

3-1-Introduction

Cette partie du travail présente la synthèse des travaux expérimentaux réalisés sur l'évolution des pertes de masse et des résistances des mortiers soumises aux hautes températures.

Ces propriétés sont déduites en fonction de la variation :

- du type de sable suivant la provenance et la nature
- de la température;

3-2-Pertes de masse

Les éprouvettes sont pesées avant et après chauffage.

Les résultats obtenus sont exprimés dans le tableau suivant:

☒ -Mortier à base sable de la carrière «C1» (MC1)

Tableau V-3 : Variation de la masse du mortier MC1

<i>Variation de la masse</i>							
N	réf de l'éprouvette		Température (°c)	Masse avant (g)	Masse après (g)	Variation (g)	Moyenne (g)
1	E/C=0.50	MC1-1	200°	605	570	35	35 ± 00
2		MC1-2		600	565	35	
3		MC1-3		600	565	35	
4		MC1-4	400°	600	545	55	56.67 ±2.88
5		MC1-5		600	540	60	
6		MC1-6		595	540	55	
7		MC1-7	600°	595	530	65	65 ± 0.00
8		MC1-8		595	530	65	
9		MC1-9		595	530	65	

☒ -Mortier à base sable de la carrière «C2 » (MC2)

Tableau V-4 : Variation de la masse du mortier MC2

Variation de la masse							
N	réf de l'éprouvette		Temperature (°c)	Masse Avant (g)	Masse Après (g)	Variation (g)	Moyenne (g)
1	E/C=0.50	MC2-1	200	580	560	20	20 ± 0.0
2		MC2-2		590	570	20	
3		MC2-3		585	565	20	
4		MC2-4	400	580	520	60	60 ±0.0
5		MC2-5		585	525	60	
6		MC2-6		595	535	60	
7		MC2-7	600	595	530	65	65 ± 0.0
8		MC2-8		590	525	65	
9		MC2-9		595	530	65	

☒ -Mortier à base sable de la carrière «C3» (MC3)

Tableau V-5 : Variation de la masse du mortier MC3

Variation de la masse							
N°=	Réf de l'éprouvette	Temperature (°C)	Masse avant (g)	Masse après (g)	Variation (g)	Moyenne (g)	
1	E/C=0.50	MC3- 1	200°	580	560	20	16,67 ± 2.88
2		MC3- 2		570	555	15	
3		MC3- 3		570	555	15	
4		MC3- 4	400°	600	540	60	60,00 ± 0.0
5		MC3- 5		600	540	60	
6		MC3- 6		600	540	60	
7		MC3- 7	600°	590	525	65	66,67 ± 2.88
8		MC3- 8		595	530	65	
9		MC3- 9		595	525	70	

☒ -Mortier à base sable de mer (MM)

Tableau V-6 : variation de la masse du mortier (MM)

Variation de la masse							
N°	Réf de l'éprouvette		Température (°C)	Masse avant (g)	Masse après (g)	Variation (g)	Moyenne (g)
1	E/C=0.50	MM- 1	200	540	505	35	35,00 ± 0.0
2		MM- 2		540	505	35	
3		MM- 3		535	500	35	
4		MM- 4	400	535	485	50	51,67 ± 2.88
5		MM- 5		530	480	50	
6		MM- 6		540	485	55	
7		MM- 7	600	540	480	60	61,67 ± 2.88
8		MM- 8		540	480	60	
9		MM- 9		545	480	65	

☒ -Mortier à base sable normalisé N (MN)

Tableau V-7 : variation de la masse du mortier (MN)

Variation De La Masse							
N	Réf de l'éprouvette		Température (°C)	Masse avant (g)	Masse après (g)	Variation (g)	Moyenne (g)
1	E/C=0.50	MN- 1	200°	565	550	15	18,33 ± 2.88
2		MN- 2		570	550	20	
3		MN - 3		565	545	20	
4		MN -4	400°	565	515	50	51,67 ± 2.88
5		MN - 5		560	510	50	
6		MN - 6		565	510	55	
7		MN - 7	600°	565	505	60	60,00 ± 0.0
8		MN - 8		565	505	60	
9		MN - 9		560	500	60	

Les résultats de la perte de masse sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau N°V-8: résultats de perte de masse des différents mortiers

Température (°C)	Perte de masse en %				
	MC1	MC2	MC3	MM	MN
200	5,83	3,41	2,91	6,50	3,23
400	9,45	10,25	10,00	9,66	9,17
600	10,92	10,91	11,23	11,38	10,65

- Variation de la masse après séchage en fonction de différentes températures

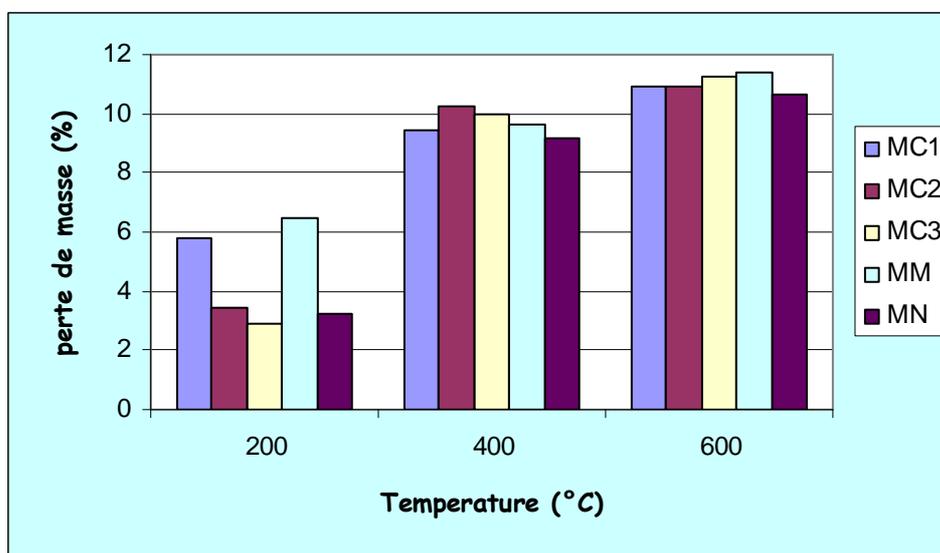


Tableau V-7 : variation de la masse des mortiers (MC1, MC2, MC3, MM, MN)

Commentaires :

- Aux températures 200 °C; 400°C et 600 °C ; le mortier à base de sable de carrière C1, a des pertes de masses respectivement de **5.83 %**. **9.45%** et **10.92 %**.
- Aux températures 200 °C; 400°C et 600 °C ; le mortier à base de sable de carrière C2 a une perte de masse de **3.41%**. **10.25%** et **10.91%**.

- Aux températures **200 °C; 400°C et 600 °C** ; le mortier à base de sable de carrière C3 a une perte de masse de **2.91%. 10% et 11.23%**.
- Aux températures **200 °C; 400°C et 600 °C** ; le mortier à base de sable de mer a une perte de masse de **6.50%. 9.66% et 11.38%**.
- Aux températures **200 °C; 400°C et 600 °C** ; le mortier à base de sable **normalisé** a une perte de masse de **3.23%. 9.17% et 10.65%**.

On remarque :

- chaque fois que la température augmente ; la perte de masse augmente ceci s'explique par le départ des quantités d'eau relatives aux températures indiquées.
- A la température **200°C** ; la variation de la perte de masse des mortiers est bien considérable par rapport aux températures **400°C. et 600°C.**
- A la température **200°C** ; la variation de la perte de masse du mortier à base de sable de mer est plus importante que celle des mortiers à base de sable C1, C2, C3 et N.
- On remarque que le mortier MC3 présente la perte la plus faible à **200°C**, ce qui implique que la quantité d'eau liée aux grains est plus importante que dans les autres cas ainsi que la quantité d'eau nécessaire à la réaction.
- Aux températures suivantes (**400°C et 600°C**), les pertes de masse des différents mortiers sont voisines. Ce qui implique que les quantités importantes d'eau libre ont été déjà évacuées.

3-3-Résultats des essais

3-3-1-Evolution de la résistance à la traction aux hautes températures

Les résultats (valeurs moyennes) des résistances à la traction sont consignés dans les tableaux et les courbes suivants :

Tableau V-9 : Résistance à la traction aux différentes températures

Température (°C)	TYPES DE MORTIERS				
	Résistance à la traction (MPa)				
	MC1	MC2	MC3	MM	MN
20	7.716	5.235	6.727	4.364	4.315
200	6,534	5,285	4,561	3,311	4,516
400	5,331	5,119	5,660	2,569	4,748
600	6,343	5,463	6,581	3,094	4,284

☒ Mortier à base de sable de la carrière « C1 » (MC1)

Tableau V-10: Résistance résiduelle (MC1)

Température (°C)	Résistance (MPa)	$F_{ct} / f_{c20°C}$
20	7,716	1,000
200	6,534	0,847
400	5,331	0,691
600	6,343	0,822

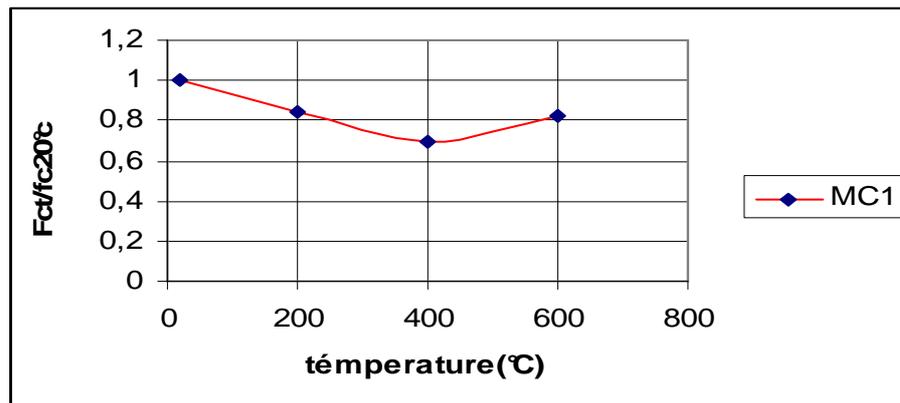


Figure V-4: Evolution de la résistance résiduelle (MC1)

☒ - Mortier à base de sable de la carrière « C2 » (MC2)

Tableau V-11 : Résistance résiduelle du mortier MC2

Température (°C)	Résistance (MPa)	$F_{ct} / f_{c20°C}$
20	5,235	1,000
200	5,285	1,010
400	5,119	0,978
600	5,463	1,044

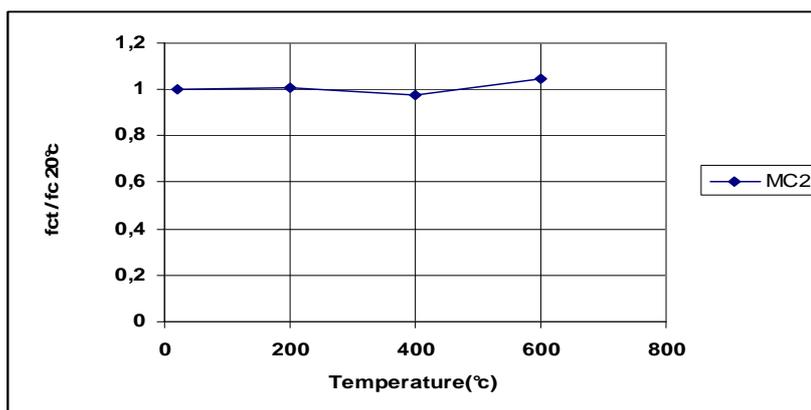


Figure V-5 : Evolution de la résistance résiduelle du mortier (MC2)

☒ - Mortier à base de sable de la carrière «C3» (MC3)

Tableau V-12 : Résistance résiduelle du mortier (MC3)

Température (°C)	Résistance (MPa)	$F_{ct} / f_{c20°C}$
20	6,727	1,000
200	4,561	0,678
400	5,660	0,841
600	6,581	0,978

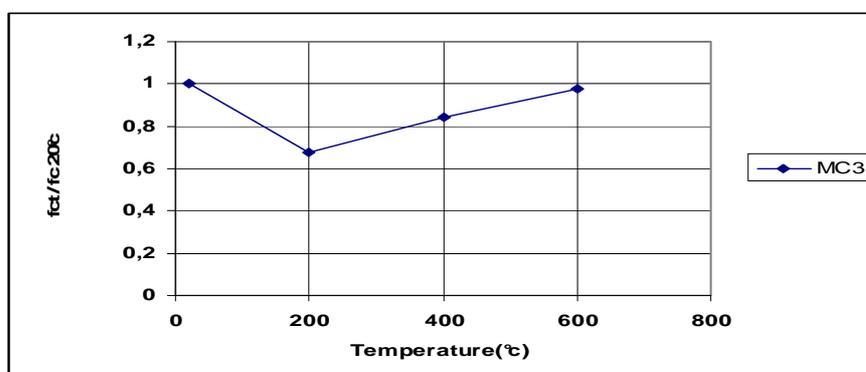


Figure V-6 : Evolution de la résistance résiduelle du mortier (MC3)

☒ - Mortier à base de sable mer (M)

Tableau V-13 : Résultats de la résistance résiduelle du mortier (MM)

Température (°C)	Résistance (MPa)	$F_{ct} / f_{c20°C}$
20	4,364	1,000
200	3,311	0,759
400	2,569	0,589
600	3,094	0,709

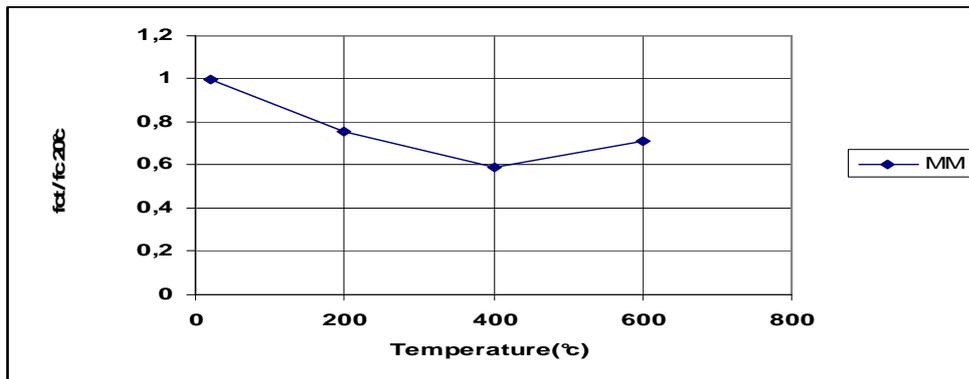


Figure V-7: Evolution de la résistance résiduelle du mortier (MM)

☒ - Mortier à base de sable normalisé (MN)

Tableau V-14 : Résultats de la résistance résiduelle du mortier (MN)

Température (°C)	Résistance (MPa)	$F_{ct} / f_{c20°C}$
20	4,315	1,000
200	4,516	1,047
400	4,748	1,100
600	4,284	0,993

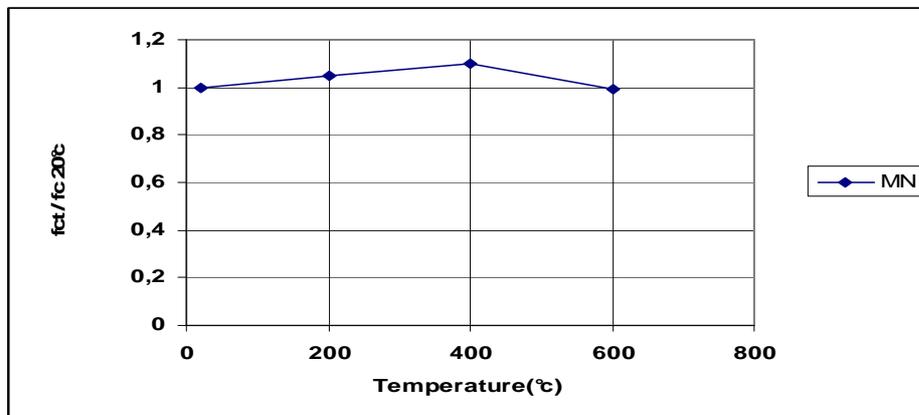
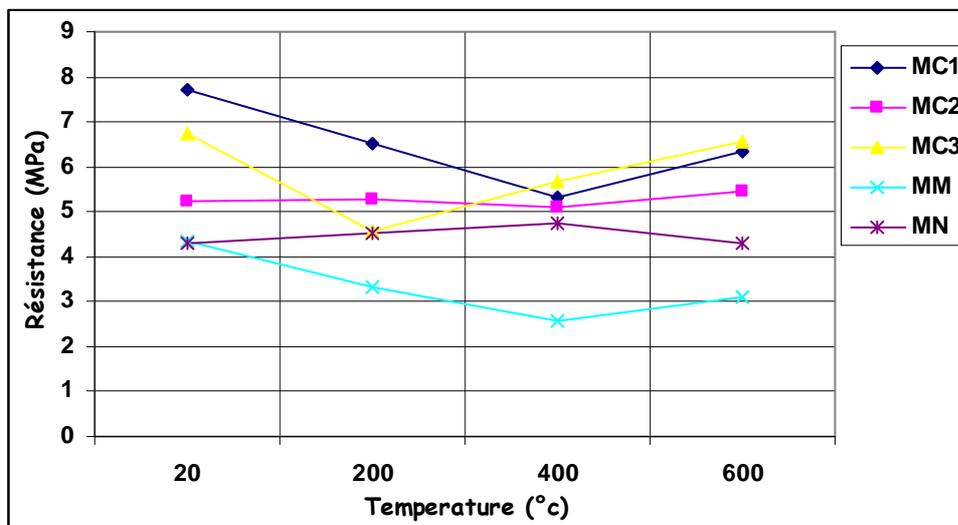


Figure V-8: Evolution de la résistance résiduelle du mortier (MN)

3-3-1-1-Evolution des résistances à la traction de différents mortiers



FigureV-9: Evolution de la résistance à la traction de différents mortiers

3-3-1-2-Commentaires et analyse de la résistance à la traction

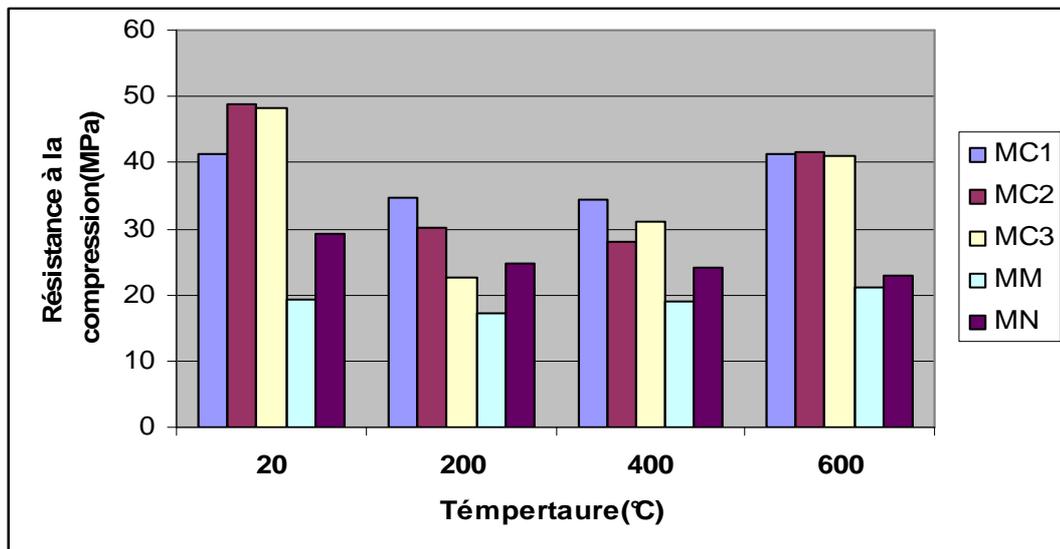
- Jusqu'à **200 °C**, les valeurs des résistances sont plus faibles que celles à la température ambiante, à l'exception de celles des mortiers MC2 et MN, où on remarque un gain de la résistance respectivement de 1% et 4,7%.
- A **400°C**; la chute de la résistance continue, à l'exception de celle des mortiers MC3 et MN, où on remarque un regain de la résistance par rapport à celle à 200°C.
- A **600°C**, on remarque un regain de la résistance, comparativement à **400 °C** de toutes les compositions.
- Tous les mortiers ont présenté une augmentation de la résistance à 600°C comparativement à celles à 400°C (à l'exception du mortier normal MN). Cela pourrait s'expliquer par l'accélération, à haute température, de l'hydratation de ces mortiers mal hydratés.
- Cette caractéristique (gain de résistance) se situait entre 400°C et 600°C pour les mortiers MC1, MC2, MM et entre 200°C et 400°C pour les mortiers MC3 et MN.

3-3-2-Evolution de la résistance à la compression aux hautes températures

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau suivant

Tableau V-15: Résistance à la compression aux différentes températures

Température (°C)	TYPES DE MORTIERS				
	Résistance à la compression (MPa)				
	MC1	MC2	MC3	MM	MN
20	41,372	48,714	48,358	19,159	29,250
200	34,706	30,166	22,639	17,194	24,751
400	34,310	28,167	31,201	19,02	24,062
600	41,370	41,527	41,098	21,078	22,852



☒ - Mortier à base de sable de la carrière C1 (MC1)

Tableau V-16 : Résultats de la résistance en compression résiduelle du mortier MC1

Température (°c)	MC1	f_{cc} / f_{c20c}
20	41,372	1,00
200	34,706	0,84
400	34,310	0,83
600	41,370	0,99

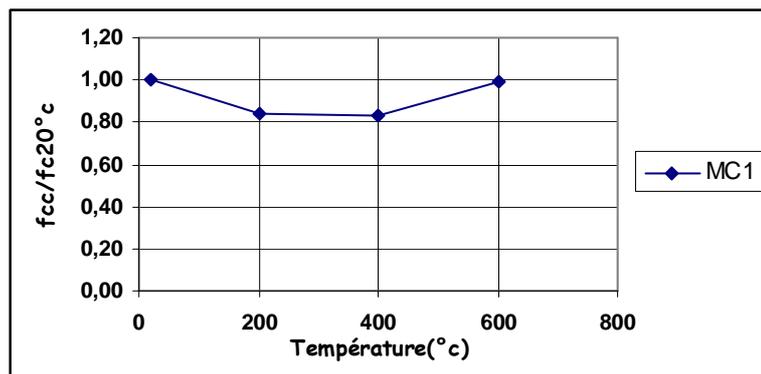


Figure V-10: Evolution de la résistance résiduelle du mortier (MC1)

☒ - Mortier à base de sable de la carrière C2 (MC2)

Tableau V-17: Résultats de la résistance en compression résiduelle (MC2)

Température (°C)	MC2	$f_{cc} / f_{c20^{\circ}C}$
20	48,714	1,00
200	30,166	0,62
400	28,167	0,58
600	41,527	0,85

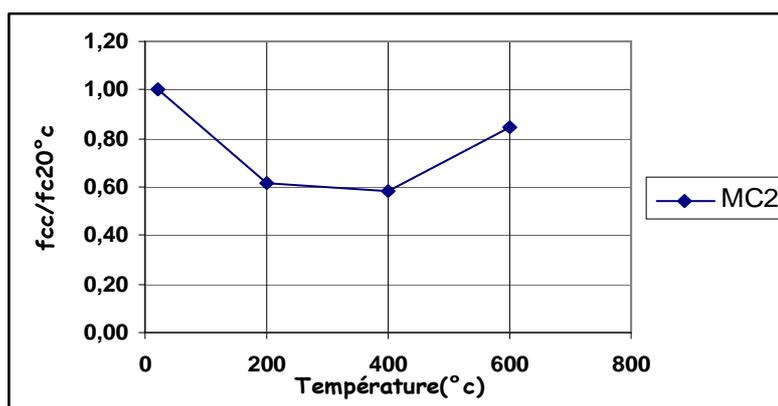


Figure V-11 : Evolution de la résistance résiduelle du mortier (MC2)

☒ - Mortier à base de sable de la carrière « C3 » (MC3)

Tableau V-18: Résultats de la résistance en compression résiduelle du mortier (MC3)

Température (°C)	MC3	$f_{cc} / f_{c20^{\circ}c}$
20	48,358	1,00
200	22.639	0,46
400	31.201	0,64
600	41,098	0,85

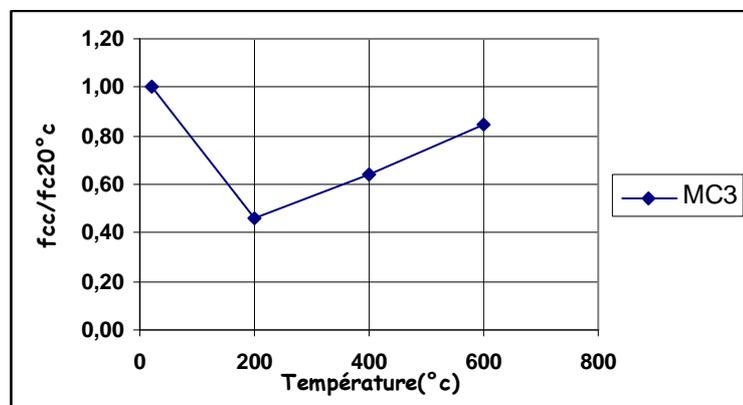


Figure V-12 : Evolution de la résistance résiduelle (MC3)

☒ -Mortiers à base de sable de carrière MC1.MC2et MC3

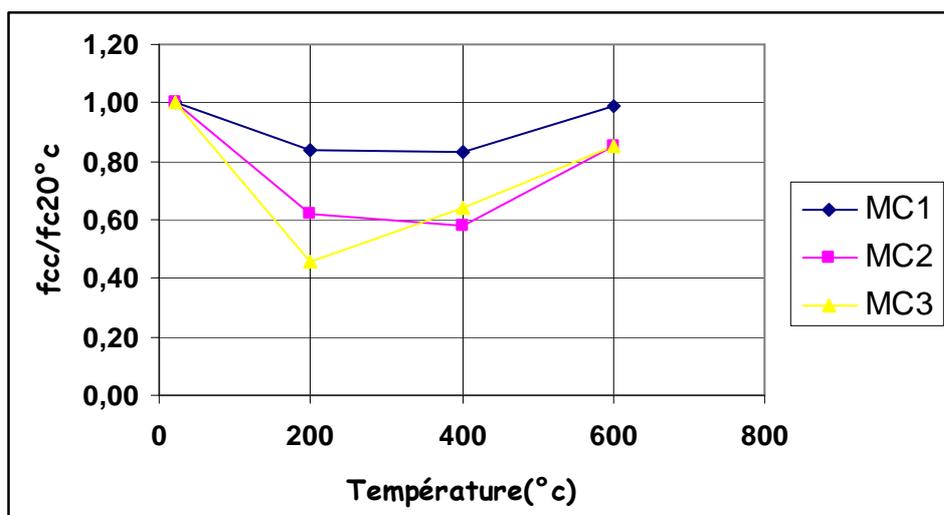


Figure V-13: Evolution de la résistance des trois mortiers (MC1; MC2; MC3)

☒ - Mortier à base de sable de mer (MM)

Tableau V-19 : Résultats de la résistance en compression résiduelle (MM)

Température (°C)	MM	$f_{cc} / f_{c20^{\circ}c}$
20	19,159	1,00
200	17,194	0,90
400	19,020	0,99
600	21,078	1,10

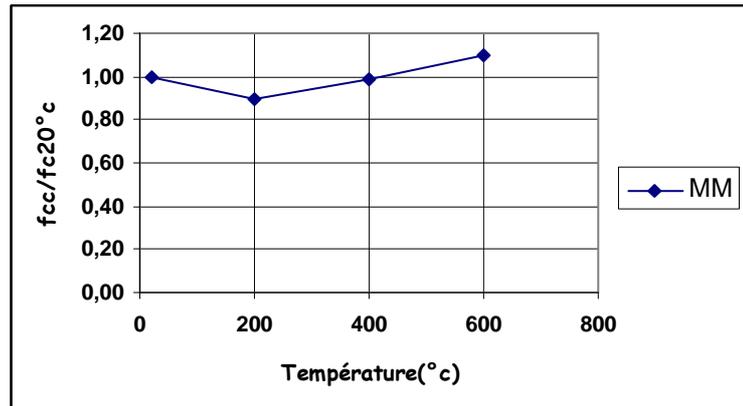


Figure V-14 : Evolution de la résistance résiduelle (MM)

☒ - Mortier à base de sable normalisé MN

Tableau V-20 : Résultats de la résistance en compression résiduelle MN

Température (°C)	MN	$f_{cc} / f_{c20^{\circ}c}$
20	29,25	1,00
200	24,751	0,85
400	24,062	0,82
600	22,852	0,78

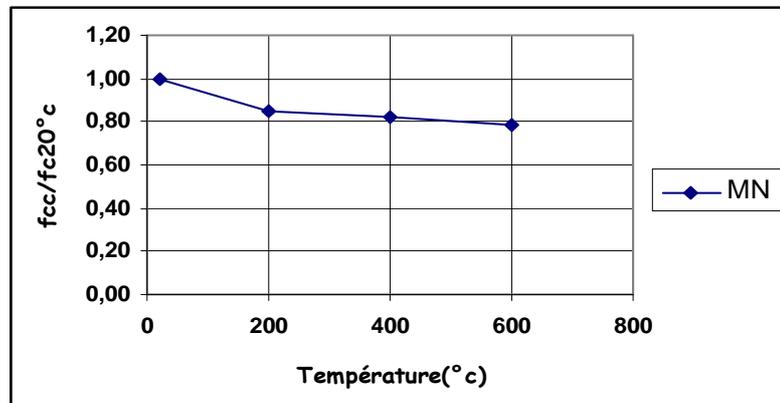


Figure V-15 : Evolution de la résistance résiduelle (MN)

3-3-2-1-Evolution des résistances résiduelles des différents mortiers

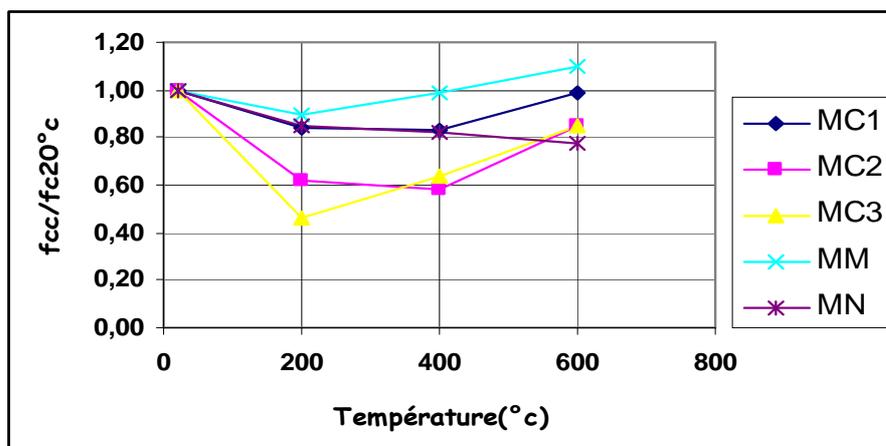


Figure V-16: Evolution des résistances résiduelles à la compression
Des différents mortiers

3-3-2-2-Commentaires et analyse de la résistance à la compression

En comparant les résultats des résistances des mortiers avec les différents sables utilisés, nous remarquons:

- A 200°C, une chute de la résistance à la compression pour les 5 mortiers. Cette chute varie de 10% (MM) à 38% (MC2). Les mortiers à base de sable de carrière subissent donc les chutes les plus importantes.
- A 400°C, la chute de la résistance à la compression des mortiers à base de sable C1 ; C2 et N continue mais de manière moins remarquée (0.02%, 6.62%, 2.62%) mais on remarque une élévation de la résistance pour les mortiers à base de mer.
- A 600°C, on observe un regain de la résistance, pouvant atteindre la résistance initiale. Ce gain de résistance est dû à une rigidification de la matrice et l'accélération de l'hydratation, phénomène observé dans les études de Pimienta [PIM-2001], Noumowé et al. [NOM-1995].
- On remarque quelques différences dans l'évolution des résistances en compression et celles en traction. Ce qui laisse suggérer qu'il existe d'autres paramètres qui n'affectent pas cette évolution de la même manière.

Conclusion générale

Conclusion générale

Cette expérimentale comparative entre des sables de carrière, de nature calcaire, et deux sables siliceux (un sable de mer et un autre normal) permet d'avancer la conclusion suivante :

- Les sables de carrière ainsi le sable normalisé sont des sables gros (le module de finesse est supérieur à 2.5 %). Les granulométries des sables de carrière sont très proches et permettent d'obtenir des résistances élevées.
- Le sable normalisé est plus fin que les sables de carrière mais il présente une meilleure propreté (c'est un sable normalisé).
- Le module de finesse du sable de mer (littoral) est inférieur à 2.2 % et a une majorité d'éléments fins et très fins ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau et par conséquent une faible résistance.
- Les résultats expriment l'influence directe de la granulométrie du sable sur les propriétés mécaniques du mortier (résistances à la traction et à la compression). Cette influence s'explique par la variation du module de finesse d'une moyenne de 52.20% par rapport aux sables de carrières.
- Les résultats mettent en évidence une diminution de la résistance du mortier à base de sable de mer, par rapport aux mortiers à base de sable de carrière. Ces derniers sont d'origine calcaire.

Quant à l'effet de la nature sable sur le retrait des mortiers, on peut dire que :

- Pour un dosage en ciment constant, le retrait est très modifié par une augmentation du dosage en eau pour les mortiers de carrière. Ces derniers sont de nature calcaire. Il faut noter que cette différence reste faible, 6% pour une augmentation du rapport E/C de 20%. On note aussi que le retrait avant prise, dû essentiellement à la perte prématurée d'une partie de l'eau de gâchage par évaporation, n'est pas quantifié. Les plots nécessaires aux mesures ne sont collés qu'une fois que le mortier est assez dur.

- l'utilisation du sable de mer provoque un retrait plus important par rapport aux sables de carrières (sable très fin).
- Les granulats issus de concassage dont nous avons trouvé une faible proportion d'éléments fins présentent moins de retrait.
- Enfin la diminution du retrait est liée à la nature du sable et à l'accroissement du module de finesse (diamètre des grains). Donc le dosage en eau, la propreté des sables, la forme et la dimension des granulats influent sur le retrait des mortiers et donc sur celui des bétons.

La détermination aux hautes températures des résistances résiduelles différents mortiers permet de conclure que :

- Jusqu'à **200 °c**, les valeurs des résistances en traction sont plus faibles que celles à la température ambiante, à l'exception de celles des mortiers MC2 et MN, où on remarque un gain de la résistance respectivement de 1% et 4,7%.
- A **400°C** ; la chute de cette résistance continue, à l'exception de celle des mortiers MC3 et MN, où on remarque un regain de la résistance par rapport à celle à 200°C.
- A **600°C**, on remarque un regain de la résistance en traction, comparativement à **400 °C** de toutes les compositions.
- Tous les mortiers ont présenté une augmentation de la résistance à 600°C comparativement à celles à 400°C (exception du mortier normal MN). Cela pourrait s'expliquer par l'accélération, à haute température, de l'hydratation de ces mortiers mal hydratés.
- Cette température caractéristique se situerait entre 400°C et 600°C pour les mortiers MC1, MC2, MM et entre 200°C et 400°C pour les mortiers MC3 et MN.

Pour les résistances en compression, on peut dire que :

- A **200°C**, une chute de la résistance à la compression pour les 5 mortiers. Cette chute varie de 10% (MM) à 38% (MC2). Les mortiers à base de sable de carrière subissent donc les chutes les plus importantes.

- A **400°C**, la chute de la résistance à la compression des mortiers à base de sable C1 ; C2 et MN continue mais de manière moins remarquable mais on remarque une élévation de la résistance pour le mortier à base de mer.
- A **600°C**, on observe un regain de la résistance, pouvant atteindre la résistance initiale. Ce gain de résistance est dû à une rigidification de la matrice et l'accélération de l'hydratation.

On remarque quelques différences dans l'évolution des résistances en compression et celles en traction. Ce qui laisse suggérer qu'il existe d'autres paramètres qui n'affectent pas cette évolution de la même manière.

Les perspectives

Les perspectives de cette étude pourraient concerner les aspects suivants :

- Etendre cette étude à des sables de carrière de granulométrie différente.
- Comparer ces mortiers mais avec une même ouvrabilité.
- Contrôler les conditions de température et d'humidité.
- Prospector la relation de l'évolution des relations entre les résistances en traction et en compression.
- Incorporer des températures intermédiaires à celles déjà étudiées.
- Détermination de l'air occlus des différents mortiers, cette propriété a son importance dans le comportement à chaud.

Bibliographie

[AFN-1991] : AFNOR : Recueil de normes françaises; béton et
Constituants du béton, paris 1991

[BAR-1997] : BARON J " : les bétons : base et données pour
Leurs Formulation "; 2eme tirage; Eyrolles,
Paris, 1997.

[BAR-1997]: BARON J., GAGNE R. et OLLIVIER J.P., Viser la
durabilité, Les Bétons bases et données pour leur
Formulation, Eyrolles, Paris, 1997

[Baza-1996]: Bazant, Z.P ; Kaplan, M. Concrete at high
temperature: material behaviour and mathematical
modelling. Londonlonman concerte

[BRAH-1996] : BRAHMA ; A « les bétons », OPU, Alger, 1996.

[Dias-1990]: Dias, W. P. S., Khoury G.A. and Sullivane P.J.E.
Mechanical properties of hardened cement paste
exposed to temperature up to 700°C. ACI Materials
Journal, 1990, vol 87, n°2, p160-166

[Died-1992]: diederichs u., jumpanen u-m. and penttala. v.
behaviour of high temperatures. espoo 1989.
helsinki university of technology, department of
structural engineering, report 1992. p.723

-
- [DREUX-1979] : DREUX ; j : « nouveau guide de béton » ,2^{eme},
édition, paris, 1979
- [DTU-1987]: DTU. Comportement au feu des structures en béton,
Règles FB, Feu et Béton. 1987, 42p.
- [DUP -2000] : DUPAIN ;R, LANCHON ;R :« granulats, sols, ciment
et bétons »: Nouvelle édition conforme aux Normes
Européenne, castella, paris, 2000
- [Euro-1994]: Euro code 4. Conception et dimensionnement des
Structures mixtes acier béton, Paris, AFNOR, 1994,
204 p.
- [Hara-1972]: Harada, T., Takeda, J., Yamane, S., Furumura, F.
Strength, elasticity and thermal properties of
Concrete subjected to elevated temperatures.
Concrete for nuclear reactors, Detroit : American
Concrete Institute, 1972, pp. 179-203. SP-39
- [Kali-2000]: Kalifa, P. et Mennet eau, F.D. Mesures de pression,
temperature et perte en masse dans les bétons à
Hautes températures, Rapport BHP 2000
- [Kali-1998]: Kalifa, P. & Tsimbrovska, M. Comportement des BHP à
hautes températures, État de la question et résultats
Expérimentaux. Cahier de CSTB n° 3078,1998

- [NEV-2000] : NEVILLE, ADAM : « propriétés des Bétons »
".Eyrolles paris ; 2000
- [Noum-1995]: Noumowé, N.A. Effet de hautes températures
(20°C-600°C) sur le béton. Cas particulier du BHP.
Thèse de Doctorat de l'INSA de Lyon, 1995.
- [KOM-1978] : KOMAR.A : « matériau et éléments de construction »,
édition Mir Moscou; 1978
- [LAN-1989] : LANCHON, R : « cours de laboratoire:granulats,
Bétons, sols», Tome 1, casteilla, paris, 1989.
- [Oliv et vich-2008] ; OLIVIER ET VICHOT ; « la durabilité des
bétons » paris ; 2008
- [ROB, COL, DEB-2008]: ROBERT, COLINAT, DEBICKET : « la
Durabilité des bétons » ; paris; 2008
- [Sole-1984]: Soles, J. A. & Geller, L. B. Experimental studies
Relating mineralogical and petrographic features to
Thermal piercing of rocks. Mines Branch Technical
Bulletin, TB53, Department of Mines and Technical
Surveys, Ottawa.
- www.gramme.be/unite9/beton/Documents/1_Composition_du_beton.