

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : des Sciences de l'Ingénierat

Département : de Génie Civil

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie civil

Spécialité : Matériaux de Génie civil

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**Comportement des mortiers bâtards à base de sable
recyclé.**

Présenté par : M^{me} ACHARI Choumaissa
M^{lle} KEBABI Amina

Encadrant : M. BERREDJEM Layachi; MCA ; Université Badji Mokhtar Annaba

Jury de Soutenance :

M. ARABI Nouredine	Pr.	Université Badji Mokhtar – Annaba	Président
M. BERREDJEM Layachi	MCA	Université Badji Mokhtar – Annaba	Encadrant
M ^{me} MELAIS Fatma Zohra	MCB	Université Badji Mokhtar – Annaba	Examinatrice

Année Universitaire : 2020/2021

Impossible de partir de rien ;
pour créer il faut d'abord détruire ce qui est,
puis bâtir avec des débris.

Jean-Yves Soucy

Table des matières

Remerciements	9
ملخص	10
Résumé	11
Abstract	12
Introduction Générale	14
La première partie,	15
La seconde partie,	15
La troisième partie,	15
Enfin, une conclusion générale	15
I. Chapitre I : Etude bibliographique	17
I.1 Introduction	17
I.2 Les granulats	17
I.2.1 Définition des granulats	17
I.2.2 Différents types de granulats	19
I.2.3 Les granulats recyclés :	21
I.2.4 Caractéristiques chimiques et physiques des sables recyclés	24
I.2.5 Caractéristiques chimiques :	26
I.2.6 Influence du sable recyclé sur les matériaux cimentaires :	27
I.2.7 Etat de saturation des granulats recyclé :	30
I.3 Propriétés des bétons et des mortiers à base de granulat recyclé.	35
I.3.1 Propriétés rhéologiques	35
I.3.2 Propriétés à l'état durci :	35
I.4 Conclusion	43
II. Chapitre II : Caractéristiques des matériaux utilisés	45
II.1 Introduction	45
II.2 Eau de gâchage	45
II.3 Adjuvants	45
II.3.1 Description	46
II.3.2 Domaines d'application	46
II.3.3 Propriétés	46
II.3.4 Ciment	48
II.3.5 La consistance normale :	49
II.3.6 Mesure du temps de prise :	49
II.3.7 La masse volumique apparente	50
II.3.8 La masse volumique absolue :	50
II.4 La chaux :	50
II.4.1 Masse volumique absolue :	51
II.4.2 Masse volumique apparente :	51
II.4.3 Surface Spécifique Blaine	52
II.5 Sables	54

II.5.1	Caractéristiques géométriques	54
II.5.2	Caractéristiques physique des sables	56
II.5.3	Teneur en eau :	58
II.5.4	Taux d'absorption d'eau	59
II.5.5	Equivalent de sable (Mesure de la propreté)	59
II.6	Conclusion :	60
III.	Chapitre III : Elaboration des mortiers bâtards	63
III.1	Introduction	63
III.2	Les mortiers :	Erreur ! Signet non défini.
III.3	Le rôle d'utilisation de mortier :	Erreur ! Signet non défini.
III.4	Différents types des mortiers :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.1	Les mortiers de ciment :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.2	Les mortiers de chaux :	Erreur ! Signet non défini.
III.4.3	Les mortiers bâtards :	Erreur ! Signet non défini.
III.5	Fabrication des mortiers :	Erreur ! Signet non défini.
III.5.1	Les mortiers fabriqués sur chantier :	Erreur ! Signet non défini.
III.6	Classification générale des mortiers :	Erreur ! Signet non défini.
III.6.1	Selon leur domaine :	Erreur ! Signet non défini.
III.6.2	Selon la nature du liant :	Erreur ! Signet non défini.
III.7	Composition des mortiers bâtards :	Erreur ! Signet non défini.
III.8	Formulation des mortiers bâtards :	63
III.8.1	Malaxage et Vibration	64
III.8.2	Etapes de coulage des éprouvettes	65
III.8.3	Confection et cure des éprouvettes	66
III.8.4	Démoulage et conservation des éprouvettes	66
III.9	Caractéristiques des mortiers à l'état Frais	66
III.9.1	Mortier à l'état frais « état plastique »	66
III.10	Propriétés des mortiers à l'état durci	71
III.10.1	Masse volumique	71
III.10.2	Résistances Mécaniques	72
III.10.3	Résultats des essais mécaniques :	74
IV.	Conclusion Generale :	85
V.	References bibliographique	87
VI.	Annexes	94

Liste des figures

Figure I-1	différents types des granulats [1].....	18
Figure I-2	Granulats naturels.....	20
Figure I-3	Granulats artificiels de Laitiers ou Scories.....	21
Figure I-4	Granulat recyclé.....	22
Figure I-5	Granulats recyclés.....	22
Figure I-6	Cinétique d'absorption d'eau de sable recyclé [30].....	26
Figure I-7	Observations de l'ITZ des mortiers à base de sable recyclé [23].....	28
Figure I-8	Résistance de mortier incorporant différentes coupures de sable recyclé [23].....	29
Figure I-9	Relation entre le rapport E/C et la résistance à la compression [55].....	30
Figure I-10	: Régime de mouillage d'un milieu granulaire[59],[60].....	31
Figure I-11	Séchage l'échantillon par le papier absorbant [68].....	33
Figure II-1	Photo du bidon du super plastifiant SIKA VISCOCRETE 665 utilisé.....	48
Figure II-2	Photos du ciment utilisé en sac.....	49
Figure II-3	: Mesure du temps de prise (Appareil de Vicat).....	50
Figure II-4	: Résultats des différents essais physiques sur ciment.....	Erreur ! Signet non défini.
Figure II-5	: Détermination de la masse volumique des sables.....	50
Figure II-6	: Photos de la chaux aérienne utilisée.....	51
Figure II-7	: Densimètre le Chatelier.....	51
Figure II-8	: L'appareillage de la masse volumique apparente.....	52
Figure II-9	: Principe de fonctionnement de perméabilimètre de Blaine (www.la.refer.or/materiaux).....	52
Figure II-10	: Photos des différents sables utilisés.....	54
Figure II-11	: Courbes granulométriques des différents sables utilisés.....	55
Figure II-12	: Masses volumiques apparentes des sables utilisés.....	56
Figure II-13	: Schémas de détermination de la masse volumique réelle (Méthode l'éprouvette)..	57
Figure II-14	: Masses volumiques réelles des sables utilisés.....	57
Figure II-15	: Séchage des matériaux à l'étuve ($T = 105 \pm 5^{\circ}\text{C}$).....	58
Figure II-16	: Teneur en eau des sables utilisés.....	59
Figure II-17	: Photos des états de sables recyclés.....	59
Figure II-18	: Photos de l'essai d'équivalent de sable.....	60
Figure II-19	: Equivalent de sable des sables utilisés.....	60
Figure III-1	: Les différents types de mortiers. [2].....	Erreur ! Signet non défini.
Figure III-2	: Etapes de malaxage du mortier bâtard.....	65
Figure III-3	: Milieux de conservation des éprouvettes.....	66
Figure III-4	: Masses volumiques des mortiers à base de sable de carrière.....	67
Figure III-5	: Masses volumiques des mortiers à base de sable de dune.....	67
Figure III-6	: Comparaison des masses volumiques des différents types de mortiers.....	67
Figure III-7	: Mesure de l'ouvrabilité.....	68
Figure III-8	: Etapes de mesure de l'ouvrabilité.....	69

Liste des figures

Figure III- 9	Pesage du moule prismatique vide.....	70
Figure III- 10	Mesure Masse du moule remplis de mortier.....	70
Figure III- 11	Pesage des éprouvettes de mortier à l'état durci.....	71
Figure III- 12	Comparaison des masses volumiques des différents mortiers.....	72
Figure III- 13	Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.....	73
Figure III- 14	Dispositif de flexion à 03 points.....	73
Figure III- 15	Dispositif de l'essai de compression.....	74
Figure III- 16	Résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SNC à 7 jours.....	74
Figure III- 17	Résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SNC à 28 jours.....	75
Figure III- 18	Résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SNC à 60 jours.....	75
Figure III- 17	Résistances en compression des mortiers bâtards à base de SNC à 07 jours.....	76
Figure III- 19	Résistances en compression des mortiers bâtards à base de SNC à 28 jours.....	76
Figure III- 21	Résistances en compression des mortiers bâtards à base de SNC à 60 jours.....	77
Figure III- 22	Résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SND à 07 jours.....	77
Figure III- 24	Résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SND à 28 jours.....	78
Figure III- 25	Résistances en compression des mortiers bâtards à base de SND à 07 jours.....	78
Figure III- 26	Résistances en compression des mortiers bâtards à base de SND à 28 jours.....	79
Figure III- 27	Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards à base de SNC.....	79
Figure III- 28	Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards à base de SND.....	80
Figure III- 29	Résistances en compression des différents mortiers bâtards à base de SNC.....	80
Figure III- 30	Résistances en compression des différents mortiers bâtards à base de SND.....	81
Figure III- 33	Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards (à l'air libre) à 07 jours..	81
Figure III- 34	Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards (enveloppés dans le plastique) à 07 jours	82
Figure III- 35	Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards (à l'air libre) à 28 jours..	82
Figure III- 36	Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards (enveloppés dans le plastique) à 28 jours	82
Figure III- 37	Résistances en compression des différents mortiers bâtards (à l'air libre) à 28 jours	83
Figure III- 38	Résistances en compression des différents mortiers bâtards (enveloppés dans le plastique) à 28 jours	83

Liste des tableaux

Tableau1- 1	Les granulats les plus utilisés.....	18
Tableau 1-2	Comparaison de la procédure des méthodes normalisée de mesure d'absorption d'eau du sable.....	31
Tableau 2- 6 :	Caractéristiques du SIKA VISCOCRETE 665.....	47
Tableau 2-7:	Composition chimique du ciment CEM II 42,5 utilisé.....	48
Tableau 2-8 :	Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé pour la confection des bétons. 48	
Tableau 2-9 :	Caractéristiques de la chaux utilisé.....	53
Tableau 2- 1:	Classement de sable.....	55
Tableau 2-2:	Module de finesse (MF) des sables utilisés.....	55
Tableau 2-4 :	Teneur en eau des sables utilisés.....	58
Tableau 2- 5 :	Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX1.....	60
Tableau 3- 1	Compositions de mortiers bâtards à base de SNC.....	64
Tableau 3-2	Compositions de mortiers bâtards à base de SND.....	64
Tableau 3- 3	Masses volumiques des mortiers à base de SNC.....	70
Tableau 3-4	Masses volumiques des mortiers à base de SND.....	71
Tableau 3-5	Masse volumique des mortiers à base de SNC :.....	72
Tableau 3-6	Masse volumique des mortiers à base de SND :.....	72

Liste des abréviations

GR : Granulats recyclé de béton

SNC : Sable naturel de carrière

SND : Sable naturel de dune

SR : Sable recyclé de béton

d : Dimension inférieur du granulat

D : Dimension supérieure du granulat

E : eau,

Eeff : Eau efficace

C : Ciment

CL : Chaux

MC : Mortiers à base de sable de carrière

MD : Mortiers à base de sable de dune

E/L : Rapport eau / Liant

Rc : Résistance à la compression,

Rf : résistance à la traction par flexion

Mf : module de finesse

ρ_{app} : masse volumique apparente

ρ_r : masse volumique réelle

ITZ : zone d'interface

Remerciements

Avant tout, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la force et la patience pour mener à terme ce travail.

Nous remercions notre encadreur Mr L. Berredjem, pour nous avoir proposé un sujet passionnant, pour ses nombreuses recommandations et ses encouragements permanents.

Nos vifs remerciements à Monsieur le professeur Noureddine Arabi pour avoir aimablement accepté de présider le jury de notre soutenance. Nos chaleureux remerciements et toute notre gratitude au docteur Fatma Zohra Melais pour avoir accepté d'être examinatrice de ce travail et pour ses directives constructives.

Nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances à tous les enseignants qui nous ont formées, et leur tête le chef de département de Génie civil, Monsieur Abdelmadjid Fellah, pour sa gentillesse et sa disponibilité. Nos remerciements vont aussi tout naturellement pour le personnel technique du laboratoire de notre département de Génie Civil, MM. Khair Eddine Khoualdi et Kamel Akroum pour leur soutien qu'ils nous ont apporté.

Nos remerciements s'adressent également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'accomplissement de ce travail, Enseignants, Collègues et Amis.

Nos pensées vont finalement à toutes nos familles et particulièrement à nos parents pour leurs soutiens et leurs encouragements permanents durant toutes nos études.

Amina et Choumaissa

ملخص

حاليا، قطاع البناء مصحوبًا بمنتجات ونفايات لها تأثير سلبي على البيئة والتي لها تأثير كبير على اقتصاد الدول. يُحظر تمامًا تفريغ نفايات البناء الصلبة الخاملة أو الخطرة من مصانع مواد البناء أو من عمليات الهدم / التفكيك إلى مدافن النفايات.

علمنا هو جزء من هذا السياق للتنمية المستدامة، وهدفه هو استعادة الرمال المرسكلة واستعمالها في إنتاج الملاط الهجين. تركز هذه الدراسة التجريبية على تأثير دمج الرمل المرسكل على خواص الملاط الهجين (50% أسمنت و 50% جير). صُنعت سلسلتان من الملاط: من الرمل الطبيعي المحجرة ورمل ال هضاب، لتحل محل الرمل الطبيعي بنسب حجم مختلفة: 0 ، 20 ، 30 ، 40 ، 50 ، 75 و 100% ، بواسطة الرمل المرسكل. تعتمد صياغة الملاط على الأسمنت المركب "CPJ 42.5" ، بنسب: الماء / الرابط = 0.5 والرمل / الرابط = 3.0.

تعتمد الدراسة على ملاحظة الخصائص الريولوجية مثل اللبونة والكتلة الحجمية زيادة على تحديد السلوكيات الميكانيكية كقوة الانحناء والضغط في 7 و 28 و 60 يومًا على عينات موشورية (16.4.4 سم 3) تم تخزينها في بيئتين مختلفتين في الهواء الطلق و محمية بالبلاستيك.

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن الرمل المرسكل له خواص فيزيائية كيميائية منخفضة نسبيًا مقارنة بالرمال الطبيعية، والتي لها تأثير سلبي على السلوك الميكانيكي للملاط الهجين، خاصة تلك التي تحتوي على نسبة عالية تزيد عن 50% من الرمال المرسكلة.

الكلمات المفتاحية: الرمل المرسكل، الملاط الهجين، ال لبونة ، الخواص الميكانيكية

Résumé

Aujourd'hui, le secteur de bâtiments, accompagnée par des produits et déchets qui ont une incidence négative sur l'environnement et qui ont un impact considérable sur l'économie des pays. Le rejet des déchets de chantiers solides inertes ou dangereuses provenant soit des usines des matériaux de construction ou de démolition/déconstruction dans les décharges publiques est strictement interdit.

Notre travail s'inscrit dans ce contexte de développement durable, il a pour objectif la valorisation du sable recyclés dans les mortiers bâtards. Cette étude expérimentale est axée sur l'influence de l'incorporation du sable recyclé sur les propriétés des mortiers bâtards adjugantés (50 % Ciment et 50 % Chaux). Deux séries de mortiers ont été confectionné à base de sable naturel de carrière et de sable naturel de dune, en remplaçant les sable naturels, avec différents pourcentages volumiques de : 0, 20, 30, 40, 50, 75 et 100 %, par du sable recyclé. La formulation des mortiers est réalisée à base d'un ciment composé « CPJ 42,5 », avec des rapports : Eau/Liant (C+CL) = 0,5 et Sable/Liant = 3,0.

L'étude est basée sur l'observation des propriétés rhéologiques comme l'étalement et la masse volumique ainsi les comportements mécaniques, résistance à la flexion et en compression à 7, 28 et 60 jours sont déterminés sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16 cm³) sont conservées dans deux milieux différents à l'air libre et protégée par du plastique.

Les résultats obtenus montrent que le sable recyclé a des propriétés physico-chimiques assez faibles par rapport aux sables naturels, ce qui a influe négativement sur les comportements mécaniques des mortiers bâtards recyclés, notamment ceux contenant un taux élevé plus de 50 % de sable recyclé.

Mots-clés : Sable recyclé, Mortier bâtard, Ouvrabilité, Propriétés mécaniques.

Abstract

Today, the buildings sector, accompanied by products and wastes which have a negative impact on the environment and which have a considerable impact on the economy of any country. The discharge of inert or hazardous solid construction waste from either construction or demolition / deconstruction material factories to landfills is strictly prohibited.

Our work is part of this context of sustainable development, its objective is the recovery of sand recycled in bastard mortars. This experimental study focuses on the influence of the incorporation of recycled sand on the properties of adjudicated bastard mortars (50% Cement and 50% Lime). Two series of mortars were made from natural quarry sand and natural dune sand, replacing natural sand, with different volume percentages of: 0, 20, 30, 40, 50, 75 and 100%, by recycled sand. The formulation of the mortars is based on a compound cement "CPJ 42.5", with ratios: Water / Binder (C + CL) = 0.5 and Sand / Binder = 3.0.

The study is based on the observation of rheological properties such as spreading and density thus the mechanical behaviors, flexural strength and compression at 7, 28 and 60 days are determined on prismatic specimens (4x4x16 cm³) are stored in two different environments in the open and protected by plastic.

The results obtained show that recycled sand has fairly low physicochemical properties compared to natural sands, which has a negative influence on the mechanical behavior of recycled bastard mortars, in particular those containing a high rate of more than 50% recycled sand.

Key words: Recycled sand, Bastard mortar, Workability, Mechanical properties.

Introduction générale

Introduction Générale

La protection de l'environnement est un élément fondamental, qui est directement liée à la survie de l'être humain, la faune et la flore. Paramètres comme l'environnement, la protection de la nature, le développement durable jouent un rôle important dans la satisfaction des exigences modernes pour les travaux de construction.

La poussée écologique imposa de tenir compte de l'environnement soit en évitant des empreintes de matériaux naturels, soit en éliminant des sous-produits et déchets dont les dépôts souvent disgracieux peuvent conduire à certaines pollutions du milieu naturel ce qui nécessitera la mobilisation de capitaux très importants. Les chantiers de construction et de démolition génèrent une grande diversité de déchets qui constituent une partie importante des coûts de production des déchets solides dans le monde. Environ 90 % d'entre eux sont éliminés en décharge. L'épuisement de sources naturelles disponibles des granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent le recyclage des déchets de chantier.

Le recyclage des granulats issus des matériaux de démolition, déjà bien engagé dans le secteur des travaux publics mais moins dans les travaux de génie civil, semble être une solution idéale, la plus prometteuse pour les problèmes de déchets. Il a connu une grande évolution dans les pays développés, répond aux soucis de manque de granulats naturels pour les besoins de fonctionnement des chantiers et de promouvoir le respect de l'environnement par l'élimination des décharges sauvages de gravats et la figure suivante est bien édifiante.

Actuellement, la valorisation de déchets de démolition a dépassé le stade d'expérimentation à travers le monde et connaît un développement assez important et le taux de recyclage des débris de construction/démolition a atteint dans certains pays les 80 %. En Algérie, l'interdiction d'extraction des matériaux alluvionnaires à partir du 04 juillet 2007 (Loi N: 05/12 du 04/08/2005), l'épuisement de certains gisements naturels de granulats et les difficultés pour mettre en place de nouvelles carrières (la protection de l'environnement, la préservation des paysages) imposent de rechercher de nouvelles sources d'approvisionnement en granulats pour béton afin de répondre aux besoins des grands chantiers lancés par le gouvernement Algérien (Autoroute Est-Ouest, la réalisation de un (01) million de logements et d'autres infrastructures....). Comme le béton constitue presque 75%, en poids, des constructions. Il s'ensuit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton.

Les granulats issus de recyclage des produits de démolition s'inscrivent dans le cadre des matériaux locaux de substitution, ils sont utilisés actuellement dans la plupart des pays Européens dans le domaine routier, et leur valorisation dans le béton hydraulique est freinée par le fait qu'ils sont considérés comme granulats hors normes. Leur hétérogénéité et leur fort pouvoir d'absorption d'eau menant à des difficultés de control des propriétés du béton frais et

par conséquent, influençant la résistance et on les suspecte ainsi d'avoir des conséquences néfastes sur la durabilité des bétons.

Les études sur l'utilisation des granulats recyclés durent depuis 50 ans. Et parallèlement, on a constaté selon différentes sources bibliographiques le manque d'études sur la composition d'un béton à base de granulats recyclés. Ceci constitue un problème, voire une insuffisance majeure.

Notre travail s'inscrit dans ce contexte de développement durable, il a pour objectif la valorisation du sable recyclés dans la production de nouveaux mortiers bâtards, dans le but de :

- ✓ Contribuer à préserver l'environnement par l'élimination du dépôt sauvage des gravats et la limitation d'extraction des granulats de carrière et alluvionnaires.
- ✓ Répondre à la demande croissante en granulats.
- ✓ Contribuer à mettre en valeur des granulats recyclés.
- ✓ Contribuer aux études menées sur l'emploi des sables recyclés dans les matériaux cimentaires en substitution des sables naturels.

La première partie,

Elle est consacrée à une synthèse bibliographique sur :

- ✓ Caractéristiques chimiques et physiques des sables recyclés
- ✓ Influence du sable recyclé sur les propriétés des matériaux cimentaires

La seconde partie,

Dans cette partie ont été abordés l'ensemble des composants intervenant dans cette étude à savoir, les caractéristiques des matériaux utilisés (sables, ciment, chaux), ainsi que les techniques expérimentales de mesure et les procédés de construction des matériaux testés et de formulation des composites sélectionnés.

La troisième partie,

Cette partie rassemble les résultats expérimentaux, leur analyse et les conclusions concernant les propriétés et substitution du sable naturel par celui recyclé, et de formulations et protocole de malaxage, et leur comportement rhéologique et mécanique en tenant compte des effets des mortiers bâtards.

Enfin, une conclusion générale

Chapitre I :

Etude bibliographique

CHAPITRE I :

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1 Introduction

Le matériau béton est le plus utilisé sur terre après l'eau. Un béton est constitué principalement d'un mélange de granulats (gravillon et sable), d'un liant hydraulique et de l'eau. Une consommation importante de béton amène à une exploitation importante des ressources naturelles en granulats. Ces dernières sont toute fois de plus en plus protégées. En plus, le développement de la construction et la croissance de la population amènent à une production de plus en plus importante de déchets de construction et de démolition. Une des solutions envisageable est de remplacer ces granulats naturels par des granulats recyclés, ce qui permet d'une part, de diminuer l'exploitation des ressources naturelles, d'autre part, de protéger l'environnement en diminuant les volumes de déchets à entreposer en centre de stockage. Une meilleure compréhension sur ce type de matériau est nécessaire en fin de promouvoir leur utilisation dans le secteur de construction. Dans ce chapitre, les études précédentes concernant des granulats recyclés (GR) sont présentées. Il s'agit du recyclage des déchets de construction et de démolition, de la caractérisation des propriétés physiques, mécaniques des GR et leur influence sur les propriétés des bétons et mortiers.

I.2 Les granulats

I.2.1 Définition des granulats

Les granulats entrant dans la composition des mortiers et bétons sont des grains minéraux appelés fillers, sables, gravillons ou graves, suivant leurs dimensions.

Le granulats est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm). Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaire ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition. Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production [1].

La nature minérale des granulats est un critère fondamental pour son emploi, chaque roche possédant des caractéristiques spécifiques en termes de résistance mécanique, de tenue au gel et des propriétés physico-chimiques. Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou semi-concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés). La taille d'un granulats répond à des critères granulométriques précis. Les granulats sont classés en fonction de leur granularité (distribution dimensionnelle des grains) déterminée par analyse granulométrique à l'aide de tamis.



Figure I-1 différents types des granulats [1]

Dimensions des granulats.

Le granulat est désigné par le couple d/D avec :

d : dimension inférieure du granulat

D : dimension supérieure du granulat

Les intervalles d/D et $0/D$ sont appelés classes granulaires.

Tableau I-1 Les granulats les plus utilisés.

Familles	Dimensions	Caractéristiques
Fillers	$0/D$	$D < 2$ mm avec au moins 85 % de passant à 1,25 mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sables	$0/D$	$d = 0$ et $D \leq 4$ mm
Graves	$0/D$	$D \geq 6,3$ mm
Gravillon	d/D	$d \geq 2$ mm et $D \leq 63$ mm
Ballasts	d/D	$d = 31,5$ mm et $D = 50$ ou 63 mm

Les granulats sont considérés comme courants lorsque leur masse volumique est supérieure à 2 t/m^3 et léger si elle est inférieure à 2 t/m^3 . Les granulats doivent répondre à des exigences et des critères de qualité et de régularité qui dépendent de leur origine et de leur procédé d'élaboration. Les granulats sont donc spécifiés par deux types de caractéristiques.

- ☛ Des caractéristiques intrinsèques, liées à la nature minéralogique de la roche et à la qualité du gisement, telles que, par exemple :
 - ✓ La gélivité
 - ✓ La masse volumique réelle
 - ✓ L'absorption d'eau et la porosité
 - ✓ La sensibilité au gel
 - ✓ La résistance à la fragmentation et au polissage
- ☛ Des caractéristiques de fabrication, liées aux procédés d'exploitation et de production des granulats telles que, en particulier :

- ✓ la granularité.
- ✓ la propreté des sables.
- ✓ la forme (aplatissement).

Les caractéristiques des granulats sont fonction de leurs familles (gravillons, sables, fillers) et font l'objet de méthode de détermination adaptée [1].

I.2.2 Différents types de granulats

Un granulat, en fonction de sa nature et de son origine, peut être...

- ☛ **Naturel** : d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).
- ☛ **Artificiel** : d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres
- ☛ **Recyclé** : obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments [2].

I.2.2.1 Granulats naturels :

Les granulats naturels, proviennent de deux sources : les carrières de roches massives et les gisements alluvionnaires. Géologiquement, les granulats naturels proviennent de trois natures de roches :

- ✓ Eruptives : granites, basaltes porphyres,
- ✓ Sédimentaires : calcaires, grès, quartzites,
- ✓ Métamorphiques : gneiss, amphibolites Les compositions minéralogiques font apparaître trois familles : les roches calcaires, les roches siliceuses et les silico-calcaires [3].

I.2.2.2 Granulats Alluvionnaires :

Dits roulés, dont la forme a été acquise par érosion. Ce sont surtout des dépôts alluvionnaires trouvés dans un lit de rivière (et en mer éventuellement) [4]. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, et criblés pour obtenir différentes classes de granulats [5].

I.2.2.2.1 Granulats de Carrières :

Les granulats sont obtenus par abatage et concassage, suivi des opérations de criblage ou tamisage pour sélectionner des grains à une dimension précise. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage... [6]. Ce type de granulats prouve une très bonne liaison avec la pâte de ciment à cause de leur texture de surface et leur rugosité. D'autre part ils nécessitent plus d'eau pour une maniabilité donnée et ceci est due à leurs angularités et donc à leurs surfaces spécifiques étendues [7].



Granulats Alluvionnaires



Granulats de carrières (calcaire)

Figure I-2 Granulats naturels

I.2.2.3 Les granulats artificiels :

Dans cette catégorie se rangent des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous-produits industriels transformés.

Dans cette catégorie se rangent des granulats provenant de la transformation thermique de roches, de minerais et de sous-produits industriels transformés.

I.2.2.3.1 Sous-Produits et Déchets de L'industrie :

a) Laitier des hauts fourneaux :

Le laitier de haut fourneau est le principal sous-produit de l'industrie sidérurgique, il est constitué de toutes les parties minérales contenues dans la charge du haut fourneau (minerai et ajouts) qui subsistent après l'extraction du fer [6].

b) Laitier cristallisé concassé :

Il est obtenu par refroidissement lent à l'air libre, en fosse, il a l'aspect et les propriétés d'une roche magmatique. Il peut être plus ou moins poreux, plus le refroidissement est lent et en couches minces, plus le laitier est cristallisé et compact [8]. Il possède une masse volumique apparente $>1250 \text{ Kg/cm}^3$, de composition chimique constituée essentiellement de chaux, magnésie, silice et alumine [9].

- Le laitier expansé ou bouleté : Le laitier de coulée subit un traitement spécial : une puissante injection d'eau et une action mécanique. Les particules de laitiers sont alors projetées à plusieurs mètres qui subissent une trempe à l'air pendant la durée de leurs trajets [9, 10]. Le laitier expansé a une masse volumique apparente comprise entre $800 \text{ et } 950 \text{ kg/m}^3$ [6].

c) Les Scories d'aciérie :

Ces laitiers sont des sous-produits de la transformation de la fonte hématite en acier. Traité comme les laitiers de haut fourneau, ce matériau est handicapé par une déferrisation insuffisante qui conduit à une masse volumique élevée d'environ 3300 kg/m^3 [8].

d) Les Schistes houillers :

L'industrie minière en général et les houillères en particulier produisent des quantités considérables de matériaux stériles. Ces déchets trouvent des applications importantes dans des terrassements routiers comme granulats [8].

e) Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement :

Il s'agit de granulats élaborés spécialement pour répondre à certains emplois, notamment granulats très durs pour renforcer la résistance à l'usure de dallages industriels (granulats ferreux, carborundum...) ou granulats réfractaires [8].

f) Granulats allégés par expansion ou frittage

Ces granulats ont des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressants. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé, leurs masses volumiques varient entre 400 et 800 kg/m³ selon le type et la granularité. Ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique [6].



Figure I-3 Granulats artificiels de Laitiers ou Scories

I.2.2.3.2 Les granulats spéciaux

D'autres granulats naturels ou artificiels peuvent être employés pour réaliser des bétons à usages spécifiques.

- ☛ Granulats légers
- ☛ Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement

Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansés (norme NF P 18-309) et le laitier expansé (NF P 18-307). D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m³, ils permettent de réaliser des bétons ou des bétons présentant une bonne isolation thermique. Les gains de poids sont intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 800 et 2 000 kg/m³.

I.2.3 Les granulats recyclés :

I.2.3.1 Nouvelles débouchées :

Le granulat recyclé est le granulat résultant de la transformation de matériaux inorganiques antérieurement utilisés en construction. Dans cette catégorie se rangent des granulats, comme le béton concassé, le fraisât d'enrobés bitumineux...

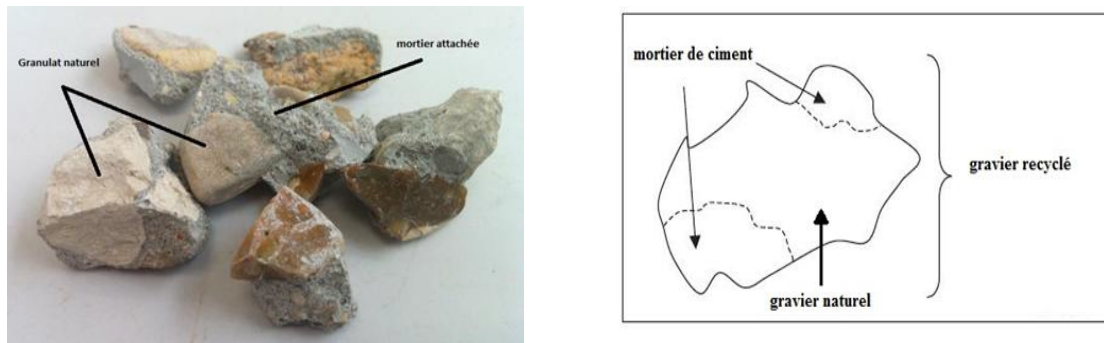


Figure I-4 Granulat recyclé

1/ Les déchets de chantier :

Les déchets de chantiers sont composés essentiellement de déchets provenant des chantiers du bâtiment et des travaux publics et des activités industrielles consacrées à la fabrication de matériaux de construction. Ils sont définis comme étant des déchets inertes qui ne se décomposent pas, ne brûlent pas, ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine [11]. Les déchets admissibles sont : les bétons, les pierres, les tuiles, les céramiques, les briques, les carrelages ainsi que les enrobés bitumineux sans goudron. L'amiante est considérée comme déchets inertes mais son utilisation est interdite pour raison de santé [12]. La figure (I.4) présente les différentes catégories de déchets de chantiers et domaine d'application [13].

2/ Les déchets de démolition :

Les déchets de démolition sont une sous-catégorie des déchets du bâtiment qui regroupent tous les matériaux de déconstruction ou de réhabilitation. Comme le béton constitue presque 75 % en poids de tous les matériaux de construction, il s'en suit donc que les fortes proportions des rebuts de démolition soient du béton [14].



Débris de béton



Débris mixte

Figure I-5 Granulats recyclés.

I.2.3.2 Elaboration des granulats recyclés :

Les installations de production de granulats recyclés ne sont pas tellement différentes des installations de concassage des granulats naturels, ce qui les différencie c'est la présence des impuretés dans les matériaux. Pour enlever ces impuretés, à différents moments au cours du processus de concassage des opérations de triage manuel ou mécanique sont effectuées. Les plus gros débris comme les plaques de métal, les panneaux de bois, les aciers d'armature, le papier, le plastique, etc. sont enlevés à la main avant l'entrée des matériaux au concasseur primaire, tandis que pour enlever les impuretés légères, QUEBAUD [15] propose deux procédés : l'épuration à l'air et l'épuration par voie humide. Pour la première solution, les granulats sont entraînés par un courant d'air sur des distances variables selon leur forme et leur nature. Le deuxième cas, l'épuration par voie humide (flottaison), la séparation est réalisée au moyen d'un bain dans lequel les granulats recyclés sont transportés par bande immergée et les fractions légères qui flottent sont séparées par des jets d'eau à contre-courant. Des électro-aimants sont ajoutés au circuit de concassage pour enlever les débris métalliques. Ces électro-aimants seront installés à la sortie des concasseurs et recueilleront les éléments métalliques comme les aciers d'armature. La figure (I.5) présente un schéma d'installation de production de granulats recyclés.

Le nombre de concasseurs utilisés dépendra de la qualité de granulat à obtenir. L'utilisation d'un seul concasseur donnera des matériaux de plus ou moins bonne qualité, et ce, même si le matériau de départ est relativement propre. De plus, procéder à un seul concassage n'enlèvera pas toutes les impuretés, seuls les débris métalliques seront enlevés grâce à l'électro-aimant. Donc, l'utilisation d'un deuxième concasseur permettra de procéder à une deuxième opération de triage (manuel et magnétique), ce qui donnera un matériau beaucoup plus propre. Pour obtenir une plus grande propreté, le RILEM [16] propose donc d'enlever la fraction inférieure à 10 mm après le premier concassage et de diriger le retenu vers le deuxième concasseur. Le choix des concasseurs est aussi un élément important de la production de ce type de granulat. Au départ, les concasseurs doivent traiter des blocs de 0,8 à 1 mètre de diamètre, ce qui implique que l'usure du concasseur est beaucoup plus rapide et que le débit de production est plus faible qu'en carrière. La majorité des installations de traitement des matériaux de démolition au Canada sont munies de concasseurs à mâchoire ou percussion comme concasseur primaire et un concasseur à mâchoire, à percussion ou plus rarement de type conique en concassage secondaire [17]. À l'exception de la distribution granulométrique, les autres propriétés comme la densité, la masse volumique, l'absorption, et la dégradation à l'impact ne sont pas affectées par le type de concasseur ou le circuit de concassage proprement dit, et tous les concasseurs produisent à peu près la même quantité de particules cubiques si, évidemment, le granulat original du béton de ciment n'a pas de tendance particulière à développer des particules plates et allongées. Les concasseurs à mâchoires donnent une granulométrie plus grossière, rendant ainsi la réduction de la granulométrie insuffisante, ce qui nécessitera un deuxième concassage. Par contre, le RILEM [16] affirme que ce sont ces concasseurs qui assurent la meilleure distribution granulométrique

pour la production de granulats recyclés fabriqués à partir de béton de ciment. Les concasseurs à impacts (ou à percussion) permettent une bonne réduction de la granularité lors du premier concassage et séparent très bien les armatures du béton ; cependant, ils subissent une usure très importante et les dimensions des matériaux à concasser sont limitées. Ces deux premiers types de concasseurs génèrent à peu près la même quantité de particules fines (particules $< 80 \mu\text{m}$). Le troisième type de concasseur, à cône, est beaucoup moins utilisé, mais il est très utile comme concasseur secondaire avec des granulats entrant de grosseur maximale de 200 millimètres. Le type de matériau à concasser aura aussi une incidence sur le choix des concasseurs. Si on concasse du béton de ciment, la quantité de pâte de ciment entourant les granulats naturels sera plus ou moins importante dépendamment du type de concasseur utilisé. De plus, Quebaud [15] affirme que le concasseur à percussion brise aussi bien les granulats naturels que la gangue de ciment, mais ne détache pas cette dernière des granulats naturels tandis que, de par leur action combinée de frottement-écrasement, les concasseurs à mâchoires donneront un pourcentage de pâte de ciment plus important dans la fraction fine. On aura donc, à la sortie du concassage, des granulats ayant une grande proportion de particules fines. En guise de conclusion sur la fabrication de ce type de granulat, CIMPELLI [18] propose un résumé des différentes phases d'élaboration des produits issus du recyclage sur l'Île-de-France, sélection et stockage des produits bruts ;

- Préparation avant traitement qui consiste à réduire les plus gros éléments à l'aide d'un marteau hydraulique ;
- Concassage primaire à l'aide d'un concasseur à percussion ou à mâchoires suivi d'un déferrailage électromagnétique ;
- Selon les installations, le concassage peut être précédé d'un criblage destiné à éliminer les matériaux à faibles caractéristiques et suivi d'un tri manuel destiné à retirer les impuretés ;
- Eventuellement, concassage secondaire portant sur la fraction supérieure issue du concassage primaire.

I.2.3.3 Le stockage :

La conservation des granulats recyclés après traitement se fait dans des aires de stockage, soit sous forme de tas individualisés, soit en trémies ou silos [21], selon des critères bien précis et qui sont fonction de la provenance des granulats, de la forme des grains, de la nature des opérations de traitement et de la granulométrie. HANSEN [19], conseille de stocker les différents types de granulats séparément l'un de l'autre, et de ne pas conserver les sables recyclés pendant longtemps [20].

I.2.4 Caractéristiques chimiques et physiques des sables recyclés

I.2.4.1 Caractéristiques physique :

I.2.4.1.1.1 Morphologie

La morphologie des particules de sable (fines $<63 \mu\text{m}$ ou grains plus grossiers) peut influencer d'une part la compacité du squelette granulaire et d'autre part les propriétés des matériaux aux états frais et durci. Dans la recherche de [22], la morphologie des sables recyclés est caractérisée par deux facteurs :

- le rapport longueur/largeur particulaire (L/W : valeur définie par le ratio entre la longueur maximale et la largeur perpendiculaire correspondante). Le sable avec un rapport L/W élevé peut affecter la compacité de l'empilement granulaire d'un béton et avoir des répercussions négatives sur les performances mécaniques.
- la sphéricité particulaire (S : valeur définie par le rapport entre le périmètre réel de section transversale et celui d'un cercle ayant la même aire que la particule). Ce facteur donne une indication sur l'aspect de surface du grain et informe ainsi sur sa capacité d'absorption d'eau. La Figure 1.6 présente les résultats de ces deux facteurs obtenus sur plusieurs sables recyclés. On constate que le rapport L/W reste relativement constant tandis que la sphéricité (S) peut évoluer de 75%. En comparaison avec le sable naturel (NS), ces facteurs semblent toujours plus élevés dans le cas des sables recyclés (RC).

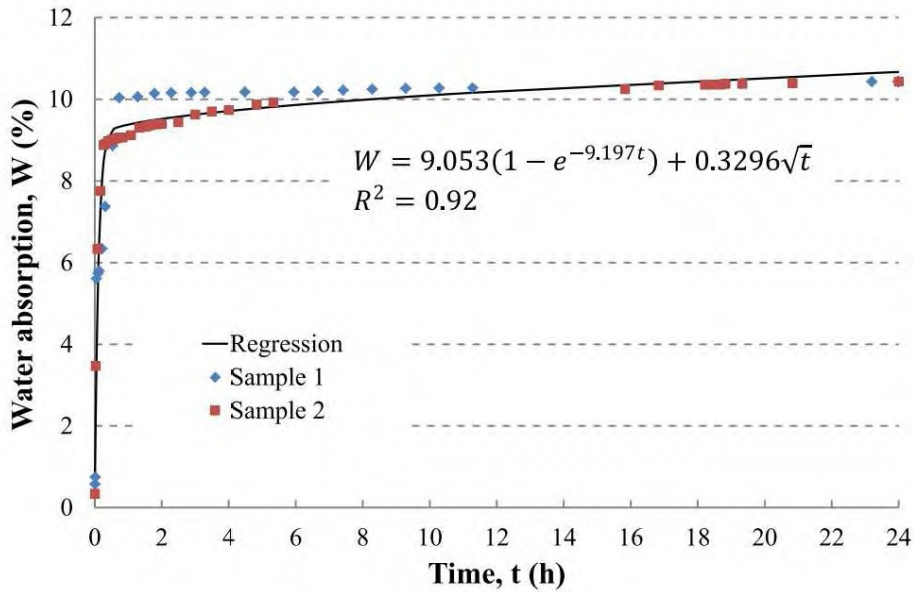
Teneur en fines ($< 63 \mu\text{m}$) dans le sable recyclé

Un des paramètres les plus importants est la teneur en fines contenue dans une coupure de sable recycle. Elle est définie comme étant la quantité de particule passant au tamis de $63 \mu\text{m}$.

Une quantité importante de particules fines conduira à une surface spécifique élevée influençant fortement la demande en eau du sable recycle. De plus, une forte densité de particules fines peut perturber l'empilement granulaire et ainsi provoquer une diminution de la résistance en compression. Pour ces deux raisons (demande en eau excessive et modification de compacité), l'emploi du sable recycle n'est pas recommandé pour la formulation des bétons de structure, voire purement interdit pour certaines applications (la préfabrication) [23 ; 24].

Densité et coefficient d'absorption d'eau

La densité et la capacité d'absorption d'eau sont considérées comme étant les deux paramètres les plus importants pour contrôler la qualité des sables recyclés. Concernant la densité, elle est généralement plus faible qu'un sable naturel ; les valeurs varient de 2,0 à 2,5 g/cm^3 . D'autre part, de nombreux travaux [25 , 24] montrent que la capacité d'absorption d'eau des sables recyclés est beaucoup plus élevée que celle des sables naturels (cela étant dû à une teneur en fines ($<63 \mu\text{m}$) très élevée). Après 24 heures d'imbibition, les résultats observés peuvent être variables ; 8,5% pour [26], 11,86% pour [27], 13,1% pour [28] et 10,9% pour [29] ; mais cela peut aussi dépendre du protocole utilisé. Selon l'étude de [30], la cinétique d'absorption d'eau est très rapide car la saturation de l'échantillon de SR intervient après seulement 30 minutes d'imbibition (Figure I.6).



Sample 1 et 2 : Deux échantillons d'un seul type de sable recyclé

Figure I-6 Cinétique d'absorption d'eau de sable recyclé [30].

I.2.5 Caractéristiques chimiques :

I.2.5.1 Teneur en chlorures :

Un sable provenant du bord de mer, tout comme un sable de désert, contient du sel et doit être traité [31]. La quantité d'ions chlore acceptable dans les granulats est limitée à : 1 % pour les bétons non armés; 0,40 % pour les bétons armés selon Neville [31] et selon la norme européenne NF EN 206-1 [32]. Il a été constaté sur des cas de bétons recyclés la présence de chlorures dépassant les limites recommandées [33]. Ceci est semblablement lié à la contamination des ouvrages par les chlorures au cours leurs exploitations avant démolition.

I.2.5.2 Teneur en sulfate :

La norme européenne EN-12-620 définit la limite de la teneur en sulfate à 1 % [34]. La teneur en sulfate des granulats recyclés est en relation avec la quantité de la pâte cimentaire attachée aux granulats. La contrainte de compression du béton qui emploie 3% de plâtre est de 15 % inférieur à celui sans plâtre. Toutefois, les granulats doivent être lavés avant leur utilisation et la démolition sélective pourrait être considérée comme une alternative efficace [35].

I.2.5.3 Alkali-réaction :

L'alkali-réaction est un ensemble de réactions chimiques pouvant se produire entre certaines formes de silices, de silicates ou de carbonates appartenant aux granulats et les éléments alcalins (sodium, potassium) en solutions dans la pâte liante [36], et la formation d'un gel expansif entraînant l'éclatement du béton [37]. Les granulats sont désignés comme étant non réactifs (NR), potentiellement réactifs (PR), potentiellement réactifs à effet de pessimum (PRP).

La teneur en alcalins actifs des granulats est communiquée si elle dépasse 0,01 % exprimée en Na₂O équivalent [37].

I.2.5.4 Gélivité des granulats :

Un granulat ne sera pas sensible au gel, s'il possède une porosité très faible ou si son système capillaire est interrompu par un nombre suffisant de macrospores (qui jouent le rôle de bulles d'air) [38]. Un granulat est considéré comme non gélif si au moins l'une des trois valeurs spécifiées suivantes est respectée : absorbe peu d'eau ($A_b \leq 1\%$), sa résistance à la fragmentation est bonne ($L_A \leq 25$), sa gélivité ($G \leq 30$) [37,39]. Dans les cas contraires, la gélivité est mesurée par la dégradation granulométrique du matériau préalablement soumis à des cycles gel-dégel [37]. L'essai gel-dégel est déterminé selon la norme "NF EN 1367-1" [40]. La sensibilité au gel est déterminée par la formule (I.1) suivante : (I.1) Ou L_{AG} : coefficient Los Angeles des granulats gelés, L_A : coefficient Los Angeles des granulats non gelés. Plusieurs travaux ont indiqué que les granulats recyclés ont de mauvaises performances lors de l'essai de gel-dégel [41, 42, 43,44].

$$G = \left(\frac{L_{AG} - L_A}{L_A} \right) \times 100 \quad (I.1)$$

I.2.6 Influence du sable recyclé sur les matériaux cimentaires :

Lors de la phase de concassage des déchets de démolition, la quantité en masse de sable peut atteindre 50% de la quantité totale de granulats recyclés produite [45]. Mais, malgré ces quantités importantes, l'utilisation de sable recyclé dans le béton reste très marginale à cause :

- d'une demande en eau relativement importante de sa partie fine (0-63 μ m),
- d'une production relativement irrégulière, surtout au niveau de cette partie fine.

De plus, avec ce problème récurrent de coefficient d'absorption d'eau très élevé, l'emploi de sable recyclé peut provoquer des problèmes de comportement du béton que ce soit à l'état frais (diminution de la maniabilité par exemple) ou à l'état durci (baisse de résistance mécanique)

I.2.6.1 Influence du sable recyclé

L'utilisation de sable recyclé dans le béton reste très marginale, malgré ces quantités importantes, suite à sa forte demande en eau provoquée principalement par ces particules fines relativement importantes et sa morphologie irrégulière. De plus, avec ce problème récurrent de coefficient d'absorption d'eau très élevé, l'emploi de sable recyclé peut provoquer des problèmes de comportement du béton que ce soit à l'état frais (diminution de la maniabilité) ou à l'état durci (baisse de résistance mécanique). Généralement, toutes les études montrent une diminution de la résistance mécanique des matériaux cimentaires lorsque du sable recyclé est incorporé dans le mélange. Cela est attribué aux mauvaises caractéristiques intrinsèques (résistance du grain, forte capacité d'absorption, structure poreuse) [46].

Dans cette partie, nous allons faire un focus sur les paramètres influençant la résistance à la compression.

I.2.6.2 Taux de substitution en sable recyclé

Il est bien connu que la résistance à la compression d'un matériau cimentaire diminue avec l'augmentation du taux de substitution massique en sable recyclé [47]. En revanche, cette chute de performance n'est pas significative pour un taux de remplacement massique inférieur à 30% [48 et 49]. Avec un taux de 30% de RS, les travaux de Zega and Di Maio (2011) [49] ont montré une diminution de 5% par rapport au béton de référence. D'autre part, l'étude de Khatib, (2005) [50] établit qu'un remplacement de 100% en masse de sable naturel par du RS provoque une chute de résistance de 30%.

I.2.6.3 Etat hydrique de sable recyclé

Il semble que l'état de saturation du sable recyclé joue un rôle important sur la résistance à la compression des matériaux cimentaires. Zhao et al. (2015) [51], ont montré que, quel que soit le rapport E/C, les mortiers avec le sable sec présentent toujours des résistances équivalentes ou supérieures à celles obtenues pour les mortiers avec du sable saturé.

Par la suite, des investigations complémentaires ont été menées sur l'auréole de transition (ITZ) de ces mortiers, déterminées par observation MEB (Figure 1.7). Les prises de vue établissent que l'épaisseur de l'ITZ dans le cas du RS saturé est plus importante (80 μm) que celle dans le cas du sable sec (10 μm). Dans le cas du RS saturé, les auteurs expliquent cette tendance par un mouvement de l'eau allant des particules saturées vers la matrice cimentaire augmentant ainsi le rapport E/C localement. Dans ce cas, la conséquence directe de cet excès d'eau local est un élargissement de l'ITZ autour du grain recyclé. Dans le cas du RS sec, le sable peut absorber l'eau et ainsi réduire le rapport E/C localement rétrécissant ainsi l'épaisseur de l'ITZ.

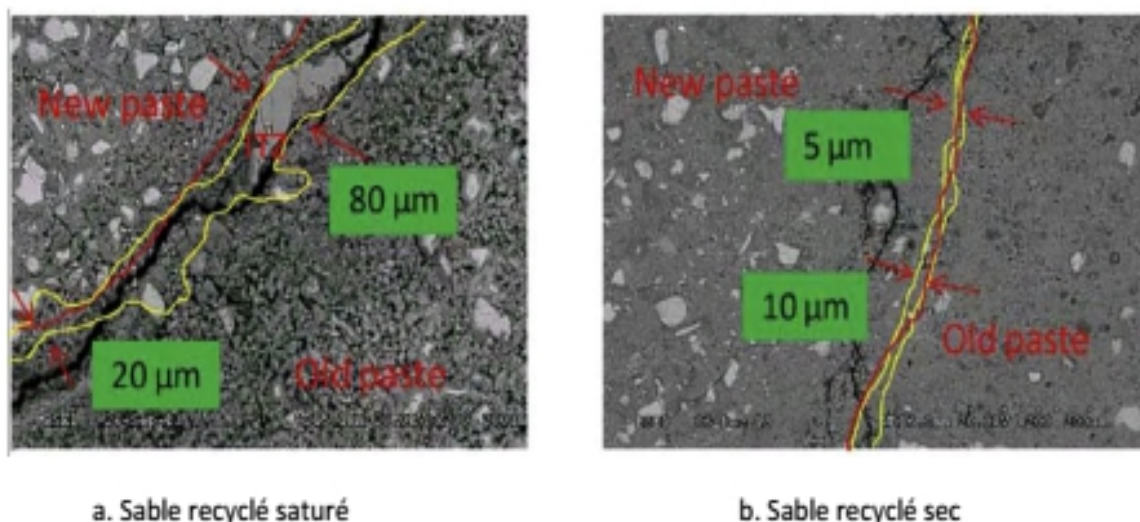
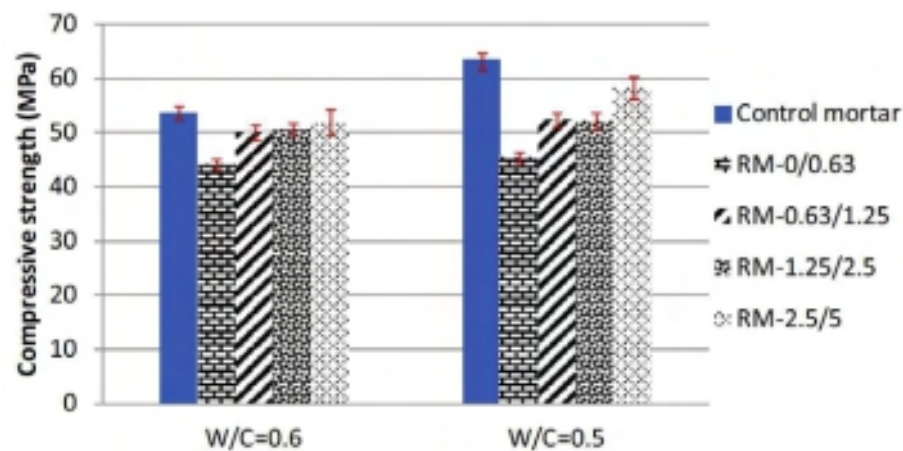


Figure I-7 Observations de l'ITZ des mortiers à base de sable recyclé [23]

Les mêmes résultats ont été trouvés par Ji et al. [52], l'état saturé à surface sèche (SSS) du RS confère au béton une résistance plus élevée que celui avec un sable sec.

I.2.6.4 Teneur en fine recyclée

L'influence des fines sur la résistance de mortiers a été étudiée Zhao et al. (2015) [51] par la substitution de différentes fractions de sable naturel par celles du sable recyclé, figure 2.10.



RM – X : Mortier recyclé où la coupure X (mm) de sable naturel est remplacé par celle de sable recyclé

Figure I-8 Résistance de mortier incorporant différentes coupures de sable recyclé [23]

Ils ont montré que la résistance la plus faible est celle du mortier dans lequel la partie très fine ($< 0,63$ mm) a été remplacée. Cette baisse de résistance est due à de mauvaises caractéristiques : une teneur en mortier plus importante, un coefficient d'absorption d'eau plus élevé et de mauvaises propriétés mécaniques des particules fines.

I.2.6.5 Influence de la quantité de liant sur la résistance

Une augmentation du dosage en ciment du béton aura pour conséquence de diminuer le rapport E/C de ce béton, ce qui se traduira nécessairement par une augmentation de la résistance surtout à court terme. La résistance du béton est reliée au type et la classe de ciment, tandis que la forte teneur en ciment des bétons affecte la résistance de tous les bétons de résistances moyennes ou très élevées (> 35 MPa) [99].

Pour atteindre la même résistance à la compression du béton conventionnel, il est nécessaire d'augmenter le dosage en ciment dans le béton à base de gros granulats recyclés de 5 à 9 % et de 15 à 20 % dans le béton à base de sable recyclé [62].

I.2.6.6 Influence des granulats sur le rapport E/C

Il est connu que les bétons conçus avec des granulats concassés génèrent une surface spécifique plus développée et demandent plus d'eau que les granulats roulés ce qui affecte la résistance. Pour des rapports $E/C < 0,4$, la résistance à la compression est majorée de 38%, lorsque le béton est fabriqué avec des granulats concassés que ceux roulés et pour des rapports $E/C = 0,65$ la résistance ne varie pas [55].

La rétention d'eau par les granulats recyclés, conduit à réaliser les bétons recyclés avec des rapports E/C supérieurs à ceux des bétons classiques [56]. Tavakoli & Soroushian, (1996) [57] ont démontré qu'un béton composé de 100 % de granulats recyclés avec un rapport E/C plus faible que celui d'un béton conventionnel, donne une résistance à la compression plus élevée que celle relevée avec celui-ci. Tandis que pour un rapport E/C égale, la résistance à la compression du béton avec 100 % de granulats recyclés est faible que celle du béton conventionnel, figure 1.9 [58].

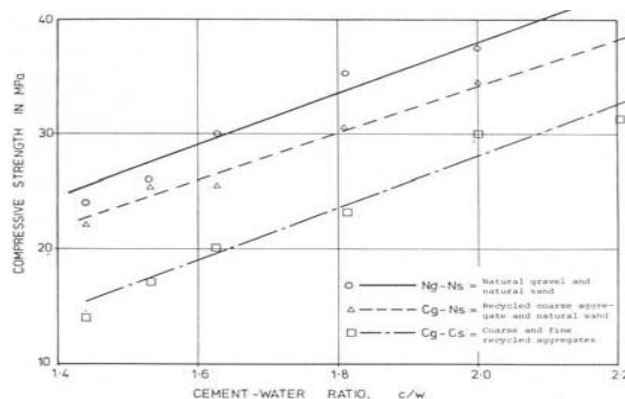


Figure I-9 Relation entre le rapport E/C et la résistance à la compression [55].

1.2.7 Etat de saturation des granulats recyclé :

1.2.7.1 Absorption d'eau des granulats recyclés

L'absorption d'eau des GBR est plus élevée par rapport à celle des granulats naturels en raison de la présence de la pâte de ciment adhérente. Cette dernière possède une porosité plus importante que celle des granulats naturels. De plus, l'état de saturation initial des granulats influence également la quantité d'eau absorbée lors du malaxage. L'utilisation de granulats sous-saturés (sec ou non-saturé) entraîne une absorption d'eau dans le malaxeur. Nous avons donc une diminution du rapport E_{eff}/C nominal. A l'inverse, quand les granulats sont utilisés à l'état sursaturé, l'eau en excès va entraîner une augmentation du rapport E_{eff}/C nominal. La détermination de l'absorption d'eau et la connaissance de l'état de saturation initial des granulats sont nécessaires pour la formulation et la fabrication du béton ou du mortier

1.2.7.2 État saturé à surface sèche « SSS »

Dans la littérature, les différentes méthodes pour déterminer l'absorption d'eau sont basées sur l'humidification ou le séchage progressif du matériau granulaire jusqu'à l'état saturé surface sèche, état dans lequel la porosité intra-granulaire est complètement remplie d'eau et il existe une fine couche d'eau adsorbée en surface des grains. Selon les études de W. Pietsch [59] et R. Collet [60], l'état d'humidité des grains dépend du degré de saturation du milieu granulaire (Figure 1.10):

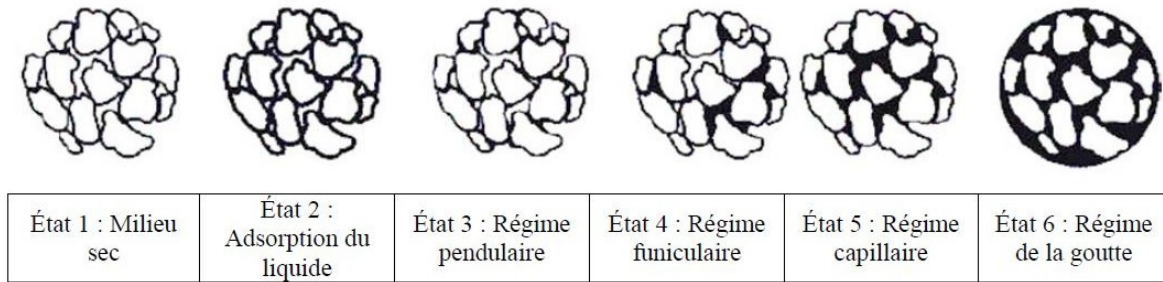


Figure I-10 : Régime de mouillage d'un milieu granulaire[59],[60]

Six états peuvent être identifiés selon le taux de saturation du milieu granulaire.

- **Etat 1 (milieu sec)**: un état théorique où le milieu est complètement sec.
- **Etat 2 (adsorption du liquide)**: le liquide est adsorbé à la surface des particules, mais il n'est pas suffisant pour créer des ponts liquides.
- **Etat 3 (régime pendulaire)** : état dans lequel la quantité de liquide à la surface des particules forme des ponts liquides aux points de contact entre les particules.
- **Etat 4 (régime funiculaire)** : la majorité des points de contact entre les particules sont déjà reliés par les ponts liquides et la porosité inter-particulaire des agglomérats formés lors de l'étape précédente est progressivement remplie par le liquide ajouté.
- **Etat 5 (régime capillaire)** : dans cet état la porosité inter-particulaire des agglomérats est complètement saturée par le liquide. Dans ce cas-là, le liquide supplémentaire forme de nouveaux ponts liquides entre tous les agglomérats.
- **Etat 6 (régime de goutte)**: Le volume de liquide est supérieur au volume poreux initial qui provoque un espacement des particules. L'état SSS recherché pour déterminer le coefficient d'absorption d'eau correspond à l'état 2 parmi les 6 états ci-dessus. Dans cet état, la porosité interne des grains est supposée complètement saturée et leur surface est supposée sèche, hormis quelques couches d'eau adsorbées fortement.

Dès qu'on obtient l'état SSS, on peut obtenir la masse totale de l'eau absorbée dans les granulats et on peut ainsi calculer leur coefficient d'absorption en eau.

I.2.7.3 Absorption d'eau du sable recyclé

La procédure de concassage des bétons pour fabriquer les GBR produit une quantité importante de sable recyclé ($d < 5$ mm). L'amélioration de la qualité de ce matériau permettrait de réduire considérablement la quantité de déchets de démolition mis en centre de stockage.

Tableau I-2 Comparaison de la procédure des méthodes normalisées de mesure d'absorption d'eau du sable

	EN1097-6	ASTM
Fraction concernée (mm)	0,063/4	0,075/ 4,75

Durée d'immersion (h)	24	24
Remplissage du cône	Non détaillé. Une seule indication : interdire le remplissage supplémentaire du moule après le tassement.	Remplir le moule tronconique à refus avant l'application du pilon normalisé. Le pilon doit tomber librement d'une hauteur initiale de 5mm à la surface du sable. Ne pas ajouter de sable après le tassement
Forme du tas de matériau pour identifier l'état SSS	Selon la figure fournie.	La surface du cône « s'affaisse légèrement »

La détermination du coefficient d'absorption d'eau des sables est plus difficile que pour les gros granulats en raison de la présence des fines. Dans un matériau granulaire fin, il est possible de trouver de l'eau dans les pores internes des granulats, adsorbée à la surface des particules et dans les agglomérats de fines. De plus, il peut être difficile de distinguer l'eau absorbée dans les pores internes et l'eau piégée dans les agglomérats. Comme il a été dit, l'absorption d'eau est un des paramètres importants pour la formulation du béton. Mais il existe, jusqu'à aujourd'hui, aucune méthode spécifique applicable pour déterminer le coefficient d'absorption d'eau du sable recyclé. Dans la littérature, certaines méthodes expérimentales ont été proposées afin d'améliorer la mesure d'absorption d'eau des sables recyclés.

Différentes méthodes normalisées ou non-normalisée ont été proposées dans la littérature pour déterminer le coefficient d'absorption d'eau des sables et ont été appliquées aux sables recyclés.

Le principe des méthodes normalisées, européenne EN 1097-6 [61], américaine ASTM C128-4 [67] est similaire (Tableau 4). L'absorption d'eau est déterminée en identifiant la teneur en eau à l'état SSS. Le sable est immergé 24 heures dans l'eau avant d'être séché progressivement par un courant d'air chaud. L'état SSS est identifié à partir d'un essai d'affaissement d'un cône de sable permettant de détecter d'éventuelles forces capillaires liées à la présence d'eau interstitielle.



Figure I-11 Séchage l'échantillon par le papier absorbant [68]

Une méthode non-normalisée a été développée par IFSTTAR, sous le nom IFSTTAR N78 [68], pour la mesure du coefficient d'absorption d'eau des sables concassés. Cette méthode propose d'utiliser les papiers absorbants pour identifier l'état SSS (Figure 1.11). L'état SSS est atteint en séchant l'échantillon à l'aide d'une double feuille de papier absorbant jusqu'à ce qu'aucune trace d'humidité ne soit observable à la surface du papier. En utilisant cette méthode, on risque de perdre des fines qui collent sur les papiers.

Danaet Peters [69] ont développé une procédure se basant sur les principes de la thermodynamique. L'échantillon saturé est placé dans un tambour tournant avec une source d'air chaud à une des extrémités du tambour afin de sécher uniformément l'échantillon en rotation. Ce tambour est équipé de deux thermocouples permettant d'enregistrer les températures d'entrée et de sortie de l'air chaud afin de calculer le gradient thermique entre les deux extrémités du tambour. Tant qu'il existe de l'humidité à la surface de l'échantillon, une valeur constante du gradient thermique est observée. Dès que l'état SSS est atteint, le gradient thermique diminue rapidement.

Cette étude a été reprise par Kandhal et al. [70] qui ont développé un second prototype permettant d'améliorer la reproductibilité de la mesure. La Figure 11 présente un exemple d'évolution de la différence de température en entrée et en sortie (*appelée gradient thermique par les auteurs, terme repris par la suite*) en fonction du temps. Cependant, cette méthode demande une récupération de l'échantillon soignée et rapide à partir du tambour pour le peser après avoir identifié l'état SSS sur le graphique. De plus, on peut perdre des fines à la sortie du tambour en utilisant le courant d'air chaud. Ensuite, Gentilini et al. [71] ont amélioré ce prototype. Ils ont ajouté à la sortie une grille de taille 0.5mm et un système pour collecter les fines afin d'éviter de perdre des fines. La température de séchage est contrôlée à 70°C. En plus, le système est mis sur une balance pour enregistrer le changement de la masse ce qui évite de sortir l'échantillon du dispositif pour le peser.

Une autre méthode, nommée évaporométrie, a été développée par Mechlin getal [72].

Le principe de cette méthode est basé sur le changement du régime de la vitesse des échanges d'un tapis granulaire à température et hygrométrie constante ($40 \pm 5^\circ\text{C}$). Ce changement va apparaître dès que l'on passe de l'évaporation de l'eau inter-granulaire à l'évaporation de l'eau intra-granulaire ou encore de l'eau d'absorption. Ce changement permet de déterminer la teneur en eau critique qui correspond à l'absorption d'eau des granulats. Cette technique est une solution simple pour mesurer l'absorption d'eau des granulats fins. Elle est applicable sur différentes fractions de granulat et pour une grande plage d'absorption de quelques pourcents à une dizaine de pourcents. Pourtant, l'hypothèse que toute l'eau inter-granulaire s'évapore pendant la phase à vitesse constante n'est pas facile à vérifier, il est possible qu'une quantité de cette d'eau puisse être encore présente au point critique.

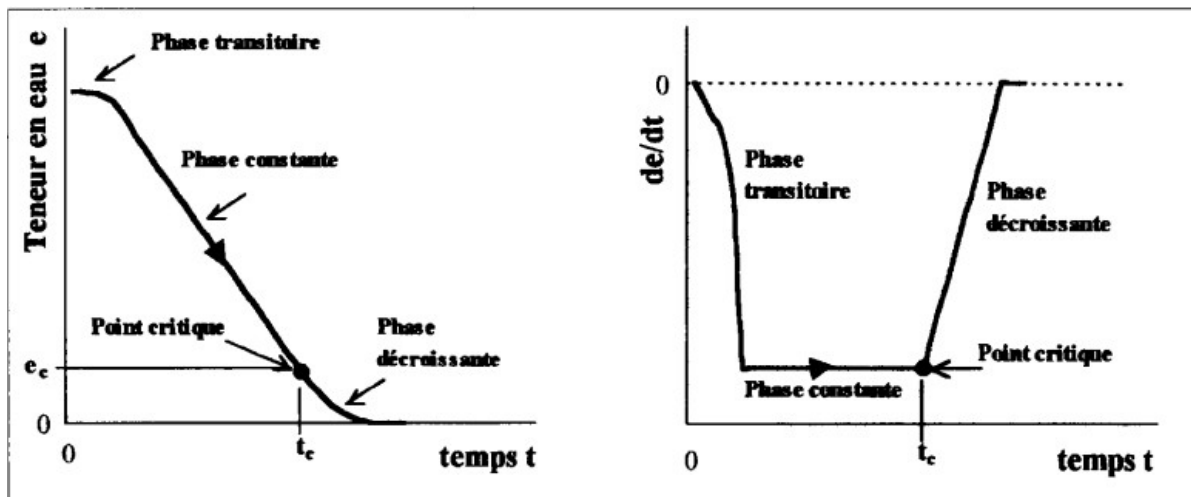


Figure 1.12: Courbes de séchage d'un matériau poreux- évolution de la teneur en eau et de la vitesse de séchage[72]

Dans le cas spécifique des sables recyclés, une méthode par extrapolation a été proposée par Zhao [73]. C'est une méthode indirecte qui permet de déterminer l'absorption d'eau des fines du sable recyclé ($d < 0.63$ mm). Cette méthode est basée sur la connaissance de la teneur en pâte de ciment de chaque fraction et l'absorption d'eau des fractions grossières ($d > 0.63$ mm). La teneur en pâte de ciment de chaque fraction granulaire est estimée à partir de la fraction soluble de la pâte de ciment dans l'acide salicylique. L'absorption d'eau des fractions grossières est mesurée par deux méthodes : EN1097-6 et IFSTTARN78. Pour conclure, dans la littérature, pour les gros granulats ($d > 5$ mm), la plupart des méthodes normalisées sont basées sur le même principe que la norme européenne EN1097-6. Dans ces méthodes, on détermine l'état SSS des granulats à partir d'un séchage avec des chiffons, un tissu absorbant ou des serviettes. Cependant, plusieurs inconvénients ont été recensés, par exemple : la température de séchage, le temps d'immersion de l'échantillon dans l'eau,... [64]. Tam et al [64], Djerbi [65] ont récemment proposé des méthodes pour mesurer l'absorption d'eau des granulats et également la cinétique d'absorption. Ces deux méthodes ont réutilisés par [66] afin d'améliorer le mode d'opérateur et le traitement des données. Globalement, pour les gravillons de GBR, il n'y a pas problème d'identification d'état SSS. Il n'y a pas problème de détermination l'absorption d'eau. Par contre, pour le sable recyclé, l'identification d'état SSS est compliquée. Le sable recyclé possède une teneur en fines importante par rapport au sable naturel ce qui tend à créer des agglomérats entre les fines au cours du séchage. On a donc du mal à identifier l'état SSS. C'est pourquoi il existe un grand nombre des protocoles dans la littérature pour résoudre ce problème. Pour le sable, les méthodes normalisées sont basées sur le même principe que la norme européenne EN 1097-6. Dans ces méthodes, l'état SSS des granulats est déterminé à partir d'un essai d'affaissement au cône. Les autres méthodes non-normalisées diffèrent par le mode d'extraction de l'eau excédentaire utilisé pour identifier l'état SSS. La plupart des modes d'extraction est le séchage. Beaucoup d'entre elles sont basées sur l'utilisation d'unesourced'airchaudetunehomogénéisation.Cettedernière n'estpastoujoursefficaceetpeutcondui

reàunséchagehétérogènedesparticules.Uneméthodeindirecteaétéproposéecequipermittededéterminerl'absorptiond'eaudesfines. Cette méthode est basée sur la connaissance de la teneur en pâte de ciment de chaque fraction et l'absorption d'eau des fractions grossières ($d > 0.63\text{mm}$). Le Tableau 5 résume les différents résultats de mesure d'absorption d'eau des granulats naturels et recyclés dans les études précédentes. Il est constaté une grande dispersion des résultats dans le tableau. Probablement, cette dispersion peut être due à l'hétérogénéité du matériau utilisé, l'origine du béton, la taille des particules, ... mais aussi aux protocoles expérimentaux utilisés.

I.3 Propriétés des bétons et des mortiers à base de granulat recyclé.

Dans ce contexte, nous présentons un état des lieux de l'influence des granulats sur les propriétés du mortier et du béton et plus particulièrement le cas des granulats recyclés.

I.3.1 Propriétés rhéologiques

La maniabilité est une caractéristique d'aptitude à la mise en œuvre d'un béton. Sa mesure, est appréciée à l'aide de différents appareillages dont le plus répandu est l'essai d'affaissement au cône d'Abrams encore appelé slump-test.

L'ouvrabilité des bétons recyclés est généralement affectée par la capacité d'absorption d'eau des granulats. La forme et la texture des granulats peuvent également affecter l'efficacité de l'ouvrabilité des bétons cités. Cela dépend du type de broyeur utilisé.

La forte absorption d'eau est attribuée à la présence de l'ancien mortier attaché aux granulats recyclés et plus celui-ci est important plus la maniabilité se réduit davantage [74]. D'après certaines expériences, les bétons recyclés à base de granulats recyclé et sable naturel nécessitent 5 % d'eau que le béton conventionnel avec la même ouvrabilité [75, 76, 77]. Certains chercheurs conseillent l'utilisation des granulats recyclés saturés en eau ou très humides [78].

I.3.2 Propriétés à l'état durci :

I.3.2.1 Propriétés physiques :

I.3.2.1.1 Densité

Les granulats recyclés ont une faible densité comparée à la densité des granulats naturels ; Par conséquent la masse volumique du béton ou mortier constitués de granulats recyclés à l'état frais est plus faible que celle de béton avec granulats naturel.

I.3.2.1.2 Porosité

La figure (1-13) montre la variation de la porosité accessible à l'eau en fonction du pourcentage des granulats recyclés. Cette porosité a été mesurée selon les recommandations de l'AFPC-AFREM. Sur cette figure, on note une augmentation de la porosité en fonction du pourcentage de remplacement jusqu'à 26,3 % pour 100% de remplacement des granulats. Selon (Kon et al., 2010) cette forte porosité provient du mortier collé au granulats et en plus forte

proportion au sable. Ces résultats montrent que la porosité dépend également de la classe des granulats recyclés. En effet, la porosité des bétons avec graviers recyclés est plus faible que celle des bétons avec sable recyclé. Cela est dû à la porosité du sable recyclé qui est très forte puisqu'elle est constituée principalement du mortier de l'ancien béton. Par exemple, pour un même taux de remplacement de 50%, cette différence augmente de 17% à 20% et de 18,5 % à 24,3 % dans le cas d'un taux de 100 % de substitution.

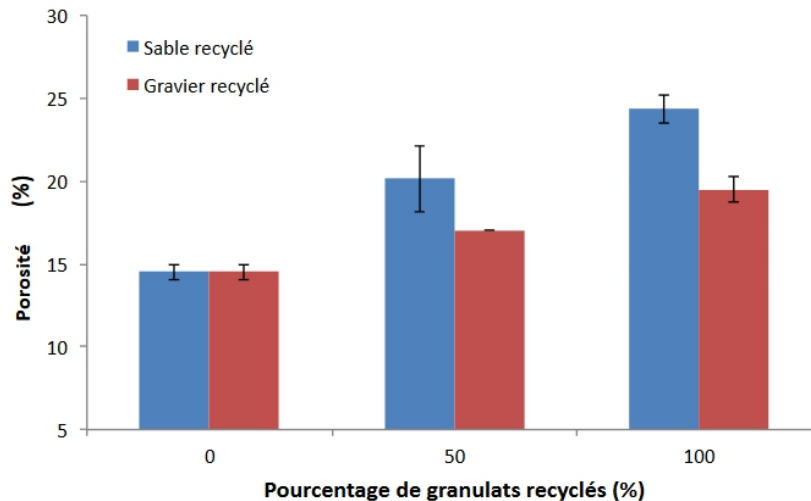


Figure 1-13 Porosité accessible à l'eau en fonction du pourcentage des GR

I.3.2.1.3 Teneur en fines et fillers

L'analyse successive des courbes granulométriques obtenues par tamisage sur 0/4mm puis par diffraction laser sur 0/500 μm et 0/100 μm renseigne sur les teneurs en éléments fins des granulats. Ainsi, les proportions d'éléments fins ($< 63\mu\text{m}$) contenus dans la fraction de sable 0/4 mm sont en moyenne 4 fois supérieures pour les granulats recyclés par rapport aux granulats naturels roulés, les granulats naturels concassés ne contiennent presque plus d'éléments inférieurs à 63 μm . Il faut également noter que les proportions en éléments fins obtenues à partir des essais aux granulométries laser ne concordent pas totalement avec celles obtenues par tamisage. [79]

I.3.2.2 Propriétés Mécaniques

I.3.2.2.1 Résistance à la Compression

La résistance à la compression est une des caractéristiques contractuelles du béton. Ce paramètre est fréquemment utilisé pour définir sa qualité. Son estimation repose sur un essai de compression directe sur des échantillons cylindrique.

La résistance mécanique d'un béton est fondamentalement liée aux performances mécaniques des granulats. En général, les résistances à la compression inférieures aux bétons standards. Cette diminution de performance varie fortement selon un certain nombre de

paramètres, tels que le taux de remplacement de granulats, les conditions de préparation des granulats (saturés ou non), la qualité du béton parent, ou encore le rapport eau/ciment (E/C). De plus, il est extrêmement important de noter que si, à 28 jours, le béton naturel présente clairement une meilleure résistance à la compression, sur le long terme en revanche (un an), le béton recyclé présente le meilleur gain de performance, et peut aller jusqu'à dépasser le béton standard sur le très long terme (5 ans) selon [80]

I.3.2.2.2 Module d'élasticité (E)

Le module de Young est la contrainte mécanique qui engendrerait un allongement de 100 % de la longueur initiale d'un matériau (il doublerait donc de longueur), si l'on pouvait l'appliquer réellement : dans les faits, le matériau se déforme de façon permanente, ou se rompt, bien avant que cette valeur ne soit atteinte. Le module de Young est la pente initiale du diagramme de déformation-contrainte.

Le module d'élasticité est l'une des propriétés les plus touchées de bétons recyclés, même à des taux de substitution faibles en granulats recyclés. Ceux-ci ont constaté qu'avec des niveaux de remplacement en granulats recyclés de 20, 50 et 100% dans des bétons, les valeurs moyennes du module d'élasticité sont de 10, 20 et 40% respectivement inférieures à celles enregistrées pour un béton conventionnel. [80]

I.3.2.2.3 Le gel-dégel

Un granulat ne sera pas sensible au gel s'il possède une porosité très faible ou si son système capillaire est interrompu par un nombre suffisant de macropores (qui jouent le rôle de bulles d'air). Le volume d'eau susceptible de geler ne doit pas excéder le volume des vides de l'air entraîné du béton. Cette condition se traduit par la nécessité d'avoir un apport E/C suffisamment faible, ce qui assure par la même une bonne résistance au béton qui peut mieux résister aux forces de dégradation induites par le gel. Le béton de granulats recyclés n'échappe pas à cette règle et il est plus exposé à de telles dégradations à cause du fort taux d'absorption d'eau par les granulats.

Plusieurs travaux ont été entrepris relativement à l'utilisation de granulats recyclés disponibles sur le marché ou fabriqués à partir de bétons de laboratoire, avec ou sans un bon réseau d'air, ont indiqué que le comportement au gel des bétons élaborés uniquement à partir de granulats recyclés est assez médiocre, mais l'emploi des bétons à base de sable naturel et de gravillon recyclé dans des conditions de gel modéré peut être envisagé. La mesure de la gélivité peut être quantifiée par la dégradation granulométrique des granulats soumis à des cycles gel-dégel ou bien à partir de la résistance gel-dégel du béton, mais aucune relation simple entre ces essais n'a été établie. Il en résulte que les faibles performances au gel du RAC provenaient des bétons réutilisés ayant déjà un mauvais réseau d'air ou comportés déjà des fissurations occasionnées lors de la fabrication (en concassage). [80]

I.3.2.2.4 Retrait

Le retrait du béton peut être défini comme la déformation d'un élément de béton libre de toute sollicitation mécanique extérieure dans une ambiance thermodynamique constante, ainsi on distingue le retrait dans une ambiance sèche et le gonflement dans une ambiance saturée. La prédiction de cette déformation est d'une très grande importance pour l'étude de la durabilité et de l'aptitude au fonctionnement à long terme des structures en béton (ponts, ouvrages hydrauliques, etc.). En effet, elles peuvent être à l'origine de la fissuration, de pertes de précontrainte, d'une redistribution des contraintes, et même, plus rarement, de la ruine de l'ouvrage. Cette variation dimensionnelle dépend de plusieurs paramètres tels que la composition du béton, la qualité de ses constituants, la taille des éléments ainsi que les conditions extérieures de conservation. Le retrait du béton possède différentes origines d'où on peut distinguer les différents retraits qui caractérisent le séchage du béton. [80]

Retrait endogène

On appelle retrait endogène, le retrait provoqué par des phénomènes strictement internes au béton, en absence de tout échange d'eau avec l'extérieur, c'est ce qu'on appelle en thermodynamique un système fermé : Le retrait endogène est un phénomène propre à l'hydratation du ciment qui témoigne de son évolution et de la quantité des hydrates formés. Ce retrait est rapide et croît lorsque la quantité d'eau diminue, il s'achève (95 %) au bout de (1 à 4) semaines. On distingue d'après l'évolution de la structure du matériau l'apparition de plusieurs phénomènes qui donnent au retrait endogène plusieurs formes de déformation d'où on présente les formes majeures qui le détermine.

- Retrait de serrage (Contraction Le Chatelier)
- Retrait thermique
- Retrait d'hydratation (auto-dessiccation)

Retrait exogène

Le retrait exogène se produit lorsque les surfaces de l'élément sont libres et peuvent échanger l'humidité avec le milieu extérieur. Ceci provoque une perte d'eau à travers les pores de la pâte ce qui atteste de la qualité de la microstructure à conserver ou à perdre son humidité.

- - Retrait de dessiccation
- - Retrait de carbonatation

Le retrait de la pâte de ciment est d'autant plus grand que le rapport E/C est plus élevé. Cependant, le retrait de séchage qui peut effectivement se produire, est limité par les granulats si ceux-ci sont à des pourcentages élevés. Selon certaines études la dégradation (fissuration) qui en découle du retrait se trouve favoriser par la présence des granulats plats qui peuvent constituer des drains s'ils sont juxtaposés, par la présence des argiles et fines dans les granulats et à la grandeur du module élastique de ces derniers. Le retrait est plus important dans le cas

d'utilisation des granulats légers qui possèdent un module élastique plus faible et qu'ils offrent donc moins d'opposition au retrait potentiel de la pâte de ciment. Généralement les granulats naturels ne sont pas sujets au retrait, mais il existe des roches dont le retrait voisine celui d'un béton à granulats sans retrait, le cas rencontré avec certaines roches sédimentaires. Le calcaire est classé comme granulat sans retrait, en revanche, sa dilatation très faible diminue les propriétés thermiques du béton car les granulats calcaires peuvent présenter des différences significatives au niveau du coefficient de dilatation avec la pâte de ciment, qui peut rompre la liaison pâte granulat.

Les bétons à base de granulats de recyclage tendent à avoir un retrait plus important. Cette tendance augmente avec la proportion de granulats de recyclage. R.V. SILVA ont signalé que le retrait de séchage du béton à base de granulats recyclés et de sable naturel est de 50% plus élevé que celui du béton conventionnel, et lorsque on utilise les deux granulats recyclés (gros et fins), le retrait de séchage du béton recyclé peut augmenter jusqu'à 70% plus élevé que celui de béton conventionnel. Ces auteurs soutiennent que le facteur responsable qui a induit l'effet de retrait dans ce type de béton, est la forte absorption d'eau des granulats recyclés. [80]

I.4 Les mortiers :

Le mortier est obtenu par le mélange d'un liant (chaux ou ciment), de sable, d'eau et éventuellement d'additions. Des compositions multiples de mortier peuvent être obtenues en jouant sur les différents paramètres : liant (type et dosage), adjuvants et ajouts, dosage en eau. En ce qui concerne le liant, tous les ciments et les chaux sont utilisables, leur choix et le dosage sont fonction de l'ouvrage à réaliser et de son environnement.

La durée de malaxage doit être optimum, afin d'obtenir un mélange homogène et régulier. Les mortiers peuvent être : [98]

- Préparés sur le chantier en dosant et en mélangeant les différents constituants y compris les adjuvants.
- Préparés sur le chantier à partir de mortiers industriels secs préposés et avant l'utilisation, il suffit d'ajouter la quantité d'eau nécessaire.
- Livrés par une centrale : ce sont des mortiers prêts à l'emploi. Les mortiers industriels se sont beaucoup développés ces dernières années, permettant d'éviter le stockage et le mélange des constituants sur des chantiers.

I.5 Le rôle d'utilisation de mortier :

La pâte plastique de mortier obtenue peut jouer plusieurs rôles essentiels : [100]

- Assurer la liaison, la cohésion des éléments de maçonnerie entre eux, c'est-à-dire la solidité de l'ouvrage, le rendre monolithique.

- Protéger les constructions contre l'humidité due aux intempéries ou remontant du sol.
- Sous forme d'enduits aériens.
- Sous forme d'écrans étanches.
- Constituer des chapes d'usure, un pour dallages en béton. Devenir la matière première dans la fabrication de blocs manufacturés, carreaux, tuyaux divers éléments moulés.
- Etre le constituant essentiel du béton.
- Consolider certains sols de fondations sous forme d'injections

I.6 Différents types des mortiers :

I.6.1 Les mortiers de ciment :

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. En revanche, il est davantage sujet au retrait. [101]

I.6.2 Les mortiers de chaux :

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment. Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment. [102]

I.6.3 Les mortiers bâtards :

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

Le mortier bâtard présente le grand avantage d'être plus élastique et plus facile à mettre en œuvre que le mortier de ciment pur. Les chaux apportent leur plasticité, les ciments apportent la résistance mécanique et un durcissement plus rapide [101]. Son retrait est en outre moins marqué. Les adjuvants ne sont pas nécessaires. Le temps de durcissement relativement long peut parfois s'avérer gênant lors de la mise en œuvre, surtout en cas de menace de gel.

Grâce à un dosage précis des adjuvants en usine, la plupart des fabricants de mortier sont en mesure de livrer des mortiers préposés (voir plus loin) qui réunit les avantages du mortier bâtard (facilité de mise en œuvre) et ceux du mortier de ciment pur (prise rapide).

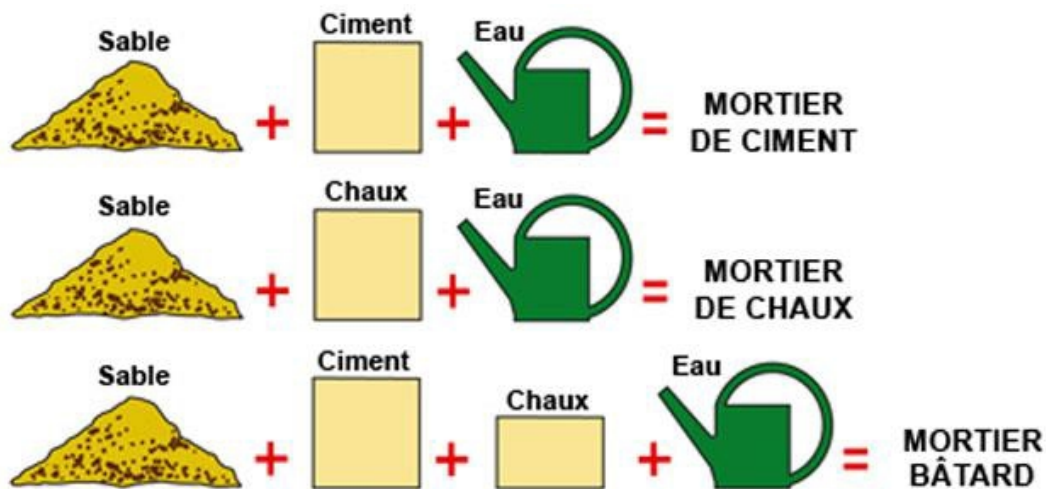


Figure III-1 Les différents types de mortiers. [104]

I.7 Fabrication des mortiers :

I.7.1 Les mortiers fabriqués sur chantier :

Ils sont préparés avec le ciment et le sable du chantier. Le ciment est un ciment courant CPA ou CPJ et parfois des ciments spéciaux comme le ciment alumineux fondu. On emploie également des chaux hydrauliques et parfois des liants à maçonner. Le sable est le plus souvent roulé (nature silico-calcaires) parfois concassé et le gâchage s'effectue à la pelle ou à l'aide d'une petite bétonnière. Ces mortiers ne sont donc pas très réguliers et les sables peuvent être différents d'une livraison à l'autre, mais de toutes façons ils doivent être propre et de bonne granulométrie. Le sable est généralement dosé en poids (ce qui est préférable), soit en volume (cas des petits chantiers). Dans ce dernier cas, il est très important de tenir compte du phénomène de foisonnement des sables. [101]

I.7.1.1 Le mortier industriel :

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins : [103]

- Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- Mortiers d'imperméabilisation.
- Mortier d'isolation thermique.
- Mortier de jointoiement.

- Mortier de ragréage.
- Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment ...
- Mortier de réparation.

I.8 Classification générale des mortiers :

I.8.1 Selon leur domaine :

L'utilisation des mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qu'est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes : [105]

- - Mortier de pose,
- - Mortier de joints,
- - Mortier pour les crépis,
- - Mortier pour le sol,
- - Mortier pour les stucs,
- - Pierres artificielles,
- - Support pour les peintures murales.

I.8.2 Selon la nature du liant :

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en :

- Mortier de ciment portland,
- Mortier de chaux,
- Mortiers bâtards, Mortier à base de ciment de maçonnerie.

I.9 Composition des mortiers bâtards :

Des composants du mortier le ciment, la chaux, de l'eau, du sable, des adjuvants et des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature du liant ou Selon leur domaine et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure. [99] Les mortiers sont constitués par des mélanges de :

- ☛ Liant (ciment +chaux).
- ☛ Eau.
- ☛ Sable.
- ☛ Adjuvants.

I.10 Conclusion

L'objectif de cette revue bibliographique était de donner un état d'avancement des travaux et des connaissances acquises sur les caractéristiques des granulats (gravillons ou sables) issus de bétons recyclés et leur influence sur les comportements à l'état frais et durcis des matériaux cimentaires en particulier les mortiers.

Les granulats recyclés diffèrent principalement des granulats naturels par leurs compositions. En effet, ils sont composés de 2 parties : le granulat primaire et la pâte de ciment attachée. L'existence de la pâte cimentaire présente une forte porosité. Ce point faible est la raison principale qui confère aux granulats recyclés des caractéristiques intrinsèques plus mauvaises que celles mesurées sur les granulats naturels. A savoir :

- ☛ Des densités plus faibles et des capacités d'absorption d'eau plus élevées.
- ☛ Des caractéristiques mécaniques plus faibles : les résistances en compression et en traction.
- ☛ Des caractéristiques chimiques et minéralogiques : forte teneur en sulfates
- ☛ Au niveau de l'influence de l'incorporation de sables recyclés sur les comportements des mortiers bâtards, les points suivants peuvent être retenus :
- ☛

A l'état frais : Les sables recyclés influencent grandement l'ouvrabilité du mortier, en raison de leur coefficient d'absorption d'eau généralement plus élevé que celui des sables naturels.

A l'état durci : Un des paramètres les plus importants est la résistance à la compression et flexion. Ces résistances sont étudiées, en considérant plusieurs facteurs qui peuvent les influencer.

Chapitre II

Caractérisation des matériaux

CHAPITRE II :

CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX UTILISÉS

II.1 Introduction

Ce chapitre est consacré alors à la présentation des différents types de matériaux utilisés dans notre étude, ainsi que le protocole de caractérisation physique et mécanique pour la préparation de mortiers bâtard à base de sable recyclés de différentes sources.

La formulation du mortier bâtard consiste la détermination des dosages des matériaux composants (sables, ciment, chaux, eau, adjuvant), ainsi la vérification de certaines propriétés et caractéristiques en les mesurant, par des méthodes et essais normalisés.



La caractérisation des matériaux de construction nécessite la connaissance de la nature de ses composants. Par ailleurs, la détermination des dosages optimaux, ainsi que l'illustration des certaines interprétations ne pourraient être possible que si les différents constituant sont bien caractérisés. Des essais physiques, chimiques, et mécaniques ont été effectués au sein du laboratoire de département de génie civil –Université Badji Mokhtar –Annaba.

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

II.2 Eau de gâchage

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

II.3 Adjuvants

On a utilisé dans cette étude un Super plastifiant/Haut Réducteur d'eau de marque SIKA VISCOCRETE 665, Conforme à la norme NF EN 934-2.

II.3.1 Description

Le Sika Viscocrete 665 est un super plastifiant/haut réducteur d'eau polyvalente de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique. Le Sika Viscocrete 665 est compatible avec tous les ciments même avec un taux C3A faible. Dans notre étude on utilise 0,5 % de l'adjuvant par rapport le poids de ciment.

II.3.2 Domaines d'application

Le Sika Viscocrete 665 permet la fabrication :

- De bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- De bétons à longs maintiens de rhéologie (> 2 h 30), sans reprise de fluidité dans le temps.
- Les bétons de préfabrication.
- Les bétons prêts à l'emploi.
- Les bétons lourds et légers.
- Les bétons d'ouvrages d'art.
- Les bétons de dallages industriels.
- Les bétons de bâtiment.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons pompés.
- Les bétons pour fondations profondes.
- Les bétons pour ouvrages fortement ferrailés.
- Les bétons soumis à des milieux agressifs.
- Les BHP, BTHP et BUHP.
- Les bétons autonivelants - bétons autoplaçants.
- Les bétons architectoniques.

II.3.3 Propriétés

Grâce à ses propriétés le SIKA VISCOCRETE 665 permet :

Sur béton frais

- Diminution de la teneur en eau.
- Amélioration de l'ouvrabilité.
- Maintien de l'ouvrabilité dans le temps (jusqu'à 2h30 – 3h00 à 20°C).
- Diminution du ressuage.
- Diminution de la ségrégation.
- Amélioration de la pompabilité des bétons.

- Réduction du retrait hydraulique.

Sur béton durci

- Amélioration des résistances mécaniques à court et long terme.
- Diminution du retrait (due à la réduction du rapport E/C et à l'augmentation du rapport Granulat/Ciment).
- Amélioration de la compacité.
- Amélioration de la liaison béton / acier.
- Réduction de la porosité capillaire de la pâte de ciment.
- Diminution du coefficient de la perméabilité.

Conditions d'application Dosage

- Mise en œuvre : Produits introduits soit dans l'eau de gâchage, soit en cours de malaxage.
- Plage de dosage : 0,4 à 2% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

Caractéristique

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau II-1 : Caractéristiques du SIKA VISCOCRETE 665

Aspect	Liquide
Couleur	Marron
PH	5± 1,0
Densité	1,085 ± 0,015
Teneur en Na ₂ O Eq	≤ 1,0%
Teneur en ions Cl ⁻	≤ 0,1%
Extrait sec	33,0± 1,1% (méthode halogène selon NF 085)

Délai de conservation

12 mois dans son emballage d'origine intact.

Précaution d'emploi

En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.

PV d'essais conforme aux normes, établi en Août 2016. Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et nos expériences à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelle de chantier.



Figure II-1 Photo du bidon du super plastifiant SIKA VISCOCRETE 665 utilisé.

II.3.4 Ciment

La composition chimique et minéralogique du CEM II 42,5 utilisé pour la confection des mortiers sont résumés dans les tableaux 2.5 et 2.6, qui sont élaborés à la base de la fiche technique fournie par le laboratoire de l'usine "Hadjar Essoud" skikda, en Annexe

Tableau II-2: Composition chimique du ciment CEM II 42,5 utilisé

CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl-	SO ₃	P.A.F 975 °C
59,5	5,0	23,0	3,0	1,5	0,13	0,45	0,01	2,5	3,0

Tableau II. : Composition minéralogique du ciment CEM II 42,5 utilisé

C ₃ S ₃	C ₂ S ₄	C ₃ A ₅	C ₄ A _F ₆
57,5	17,5	10,5	9,0

Tableau II-3 : Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé pour la confection des bétons.

Caractéristiques	Unité	Valeur
Masse volumique apparente	kg/m ³	1100
Masse volumique absolue	kg/m ³	3100
Porosité	%	64,51
Consistance normale	%	27,0
Début de prise	h	2h.25mn
Fin de prise	h	5 h
Classe de résistance	MPa	42,5
Résistance vraie	MPa	35
Finesse de mouture	cm ² /g	3200
Refus sur tamis 45 μ	%	22



Figure II-2 Photos du ciment utilisé en sac

II.3.5 La consistance normale :

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

II.3.6 Mesure du temps de prise :

L'objectif de l'essai est de définir pour chaque formulation de mortier, un temps qui soit significatif de la rapidité de prise. Lorsque l'essai a lieu sur *mortier normal*, il est gouverné par la norme NF P15-431. L'appareil utilisé est l'appareil de Vicat, mais surchargé par une masse additionnelle de 700 g. l'aiguille de 1.13 mm de diamètre qui pénètre le mortier est alors soumise à une charge de 1000 g.

II.3.6.1 Conduite de l'essai :

Après la confection du mortier, il est introduit dans un moule tronconique posé sur une plaque, sans tassement ni vibration excessifs ; il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface du moule ; puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat.

L'aiguille est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans vitesse initiale. Le début de prise est définie comme le moment où l'aiguille cesse de s'enfoncer sous l'effet de ce chargement et s'arrête à une distance d du fond du moule de 2.5 mm.1

Le temps de fin de prise est celui au bout duquel l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0.5 mm.



Figure II-3 : Mesure du temps de prise (Appareil de Vicat)

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

II.3.7 La masse volumique apparente

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

II.3.8 La masse volumique absolue :

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



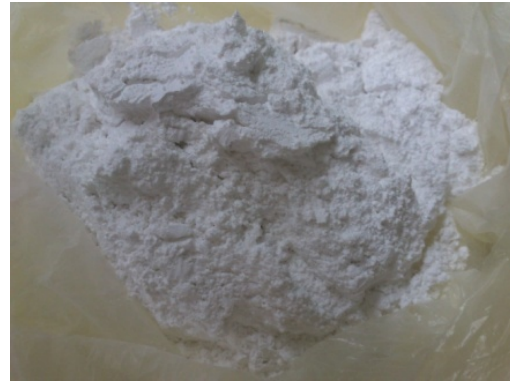
Figure II-5 : Détermination de la masse volumique des sables

II.4 La chaux :

La chaux utilisée, est la chaux aérienne produite par la société BCMC : Berriane Chaux et Matériaux de Construction. (Wilaya de Ghardaia).



a- Chaux en sac



b- Chaux en poudre

Figure II- 6: Photos de la chaux aérienne utilisée

Les essais de caractérisation effectués sur la chaux sont :

II.4.1 Masse volumique absolue :

La densité de la chaux a été déterminée selon la norme EN 196, à l'aide du densimètre Le Chatelier en utilisant le benzène (liquide non réactif). Il s'agit d'un récipient composé d'un ballon surmonté d'un renflement puis d'un col étroit gradué. Le benzène est introduit en premier jusqu'au zéro (V1), le tout est pesé (M1), on introduit après la chaux (environ 60 g), on chasse les bulles d'air et on note (V2). Le tout est pesé (M2) :

$$\rho_s = \frac{M_2 - M_1}{V_2 - V_1}$$



Figure II- 7: Densimètre le Chatelier

II.4.2 Masse volumique apparente :

La masse volumique a été déterminée conformément à la norme NF EN 196-1. En utilisant un entonnoir porté par un trépied, muni d'une passoire et d'un opercule mobile, placé au-dessus d'un récipient calibré de 1 litre.



Figure II-8 : L'appareillage de la masse volumique apparente

II.4.3 Surface Spécifique Blaine

La surface spécifique Blaine a été déterminée conformément à la norme NF EN 196-6, par la méthode de perméabilité à l'air, en observant le temps mis par une quantité fixée d'air pour traverser un lit de chaux compacté dans la cellule du perméabilimètre de Blaine.

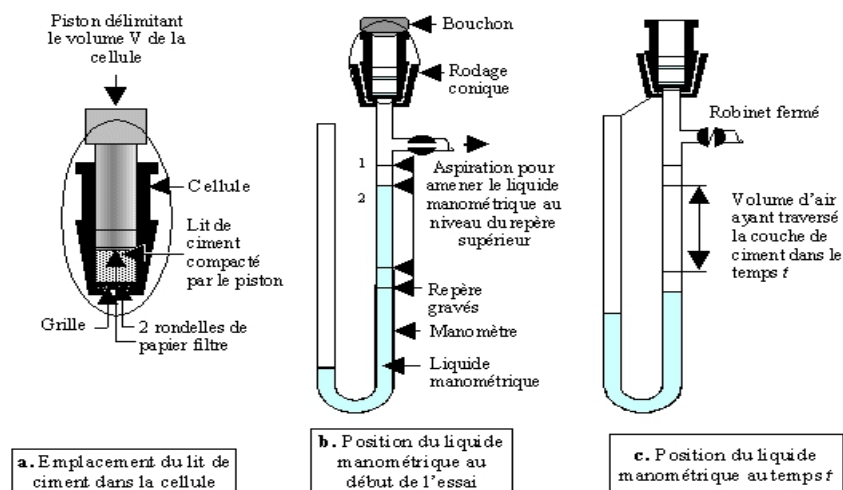


Figure II-9 : Principe de fonctionnement de perméabilimètre de Blaine

(www.la.refer.or/materiaux)

II.4.3.1 Conduite de l'essai :

Le liant hydraulique dont on désire mesurer la surface spécifique doit être à porosité constante (égale à 0.500).

- Méthode : peser à 0.01 g près, une masse m de liant telle que, compte tenu de son volume V après tassement dans la cellule, sa porosité soit égale à 0.500.
- La masse de matière à prendre s'écrit : $m = (1 - e) P_v$.
- ρ = masse volumique
- V = volume utile de cellule

- ☛ Placer la grille au fond de la cellule. Appliquer sur cette grille, au moyen d'une tige à face inférieure plane et d'une équerre, un disque neuf de papier filtre.
- ☛ Verser le liant dans la cellule en utilisant un entonnoir.
- ☛ Donner quelques légères secousses à la cellule pour niveler la couche supérieure du liant, placer sur celui-ci un autre disque neuf de papier filtre.
- ☛ Tasser avec précaution au moyen du piston en évitant la remontée de la poudre au-dessus du papier filtre jusqu'à ce que le collier vienne buter contre le haut de la cellule.
- ☛ Retirer le piston lentement (il est commode de pratiquer une légère rotation alternative).
- ☛ Vérifier le niveau du liquide du manomètre qui doit affleurer au trait inférieur. Enduire de vaseline la partie ronde de la cellule et la placer sur son ajustage en lui imprimant un léger mouvement de rotation pour répartir la vaseline; veiller au cours de cette opération à ne pas altérer le tassement de la couche.
- ☛ Aspirer lentement au moyen de la poire l'air du tube jusqu'à ce que le niveau du liquide atteigne le trait supérieur. Fermer le robinet. Mettre en marche un chronomètre sensible au cinquième de seconde quand le niveau de liquide atteint le deuxième trait.
- ☛ L'arrêter quand le niveau de liquide atteint le troisième trait.
- ☛ Noter le temps écoulé t ainsi que la température de la pièce.
- ☛ Faire trois mesures et prendre la moyenne arithmétique des trois temps.

La surface spécifique est calculée par la formule :

$$S = k \sqrt[3]{\rho \cdot t (1 - e)} \sqrt{\eta}$$

S : Surface spécifique (cm^2/g).

k : Constante de l'appareil.

e : Porosité de la couche tassée.

t : Temps mesuré en secondes.

ρ : Masse volumique (g/cm^3).

η : Viscosité de l'air à la température d'essai (en poises)

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau II- 4 : Caractéristiques de la chaux utilisé

Masse volumique absolue (Kg/m^3)	Masse volumique apparente (Kg/m^3)	Surface Spécifique Blaine (g/cm^2)
2550	468	14000.9

II.5 Sables

Le sable est le constituant du squelette granulaire le plus d'impact sur le mortier bâtard : Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs.

Dans cette étude, on a utilisé trois types de sables: Sable concassé de carrière (SNC), Sable de dune (SND) et Sable recyclé de béton de démolition (SR).



*Sable concassé de carrière
(SNC)*



*Sable de dune
(SND)*



*Sable recyclé de béton de
démolition (SR)*

Figure II-10 Photos des différents sables utilisés

II.5.1 Caractéristiques géométriques

II.5.1.1 Analyse granulométriques

L'analyse granulométrique a été réalisée conformément à la norme **NF EN 933-1**, qui permet de déterminer la grosseur et les pourcentages de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension inférieure ou égale à 80 mm, en utilisant une série de tamis emboîtés les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. La masse de l'échantillon du sable (MS) est calculée par la formule suivante :

$$200 D \max \leq MS \text{ (Masse de sable en (g))} \leq 600 D \max$$

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

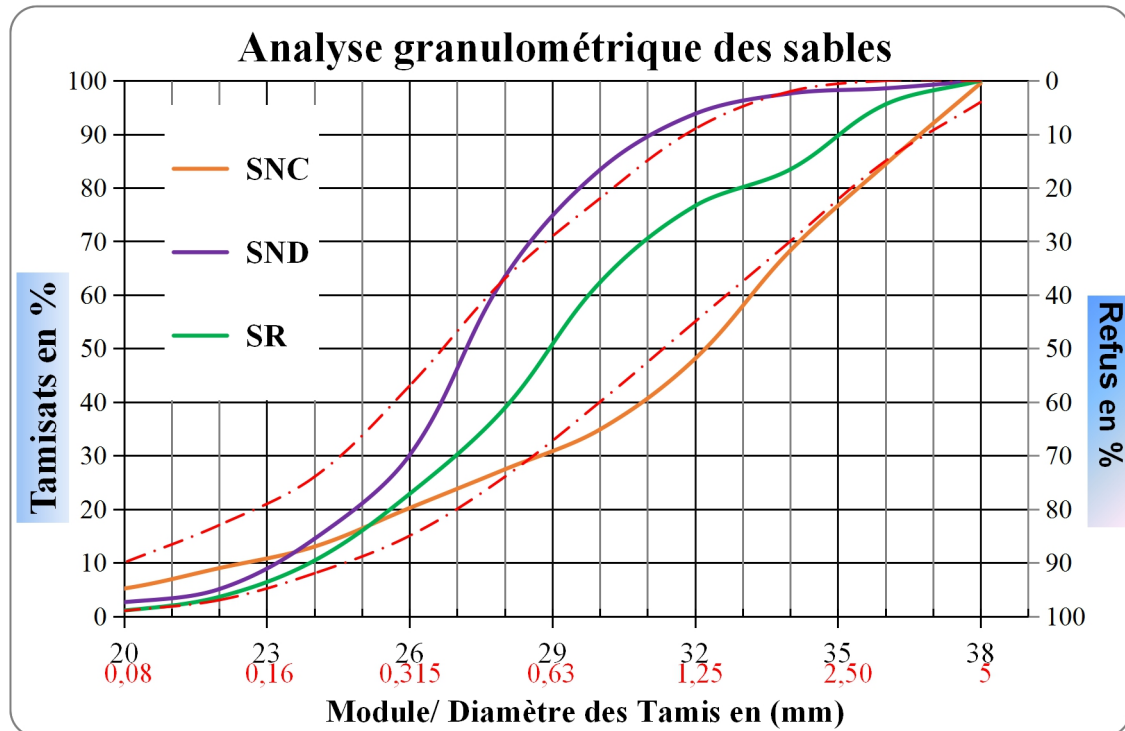


Figure II-11 Courbes granulométriques des différents sables utilisés

On remarque d'après la figure des courbes granulométriques que les trois sables s'intègrent dans le fuseau réglementaire particulièrement le sable recyclé. Ils ont une granulométrie homogène et bien étendue.

Module de finesse

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

$$MF = \Sigma RC / 100$$

RC : Refus cumulé en (%).

Tableau II-5: Classement de sable.

Qualité de sable	Module de finesse (MF)
Sable fin	$1,80 \leq MF \leq 2,20$
Sable moyen (Préférentiel)	$2,20 \leq MF \leq 2,80$
Sable grossier	$2,80 \leq MF \leq 3,20$

Tableau II-6: Module de finesse (MF) des sables utilisés.

Types de sables	Module de finesse (MF)	Qualité des sables

SNC	3,6	Sable plus grossier
SND	2,6	Sable moyen
SR	3,3	Sable grossier

II.5.2 Caractéristiques physique des sables

II.5.2.1 Masse Volumique apparente

Les masses volumiques apparente et absolue des sables sont déterminées selon la norme NF P18 -560.

II.5.2.1.1 Matériel Nécessaire

- ☛ Un entonnoir monté sur trépied
- ☛ Un récipient
- ☛ Une règle à araser.
- ☛ Une balance

II.5.2.1.2 Mode Opératoire :

1. Peser le récipient vide M0
2. Verser granulat au travers de l'entonnoir jusqu'à refus
3. Araser et peser M1
4. La masse de granulat est M1 - M0

La masse volumique apparente est calculée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{M1 - M0}{V}$$

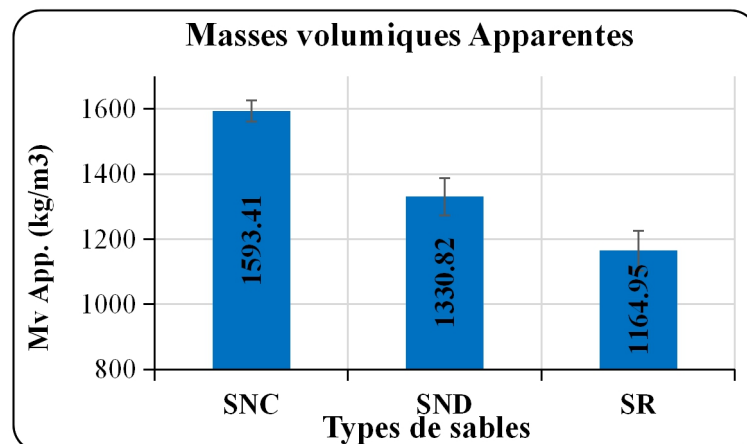


Figure II- 12 Masses volumiques apparentes des sables utilisés

II.5.2.2 Masse volumique réelle

Mesurer la masse volumique réelle du sable de carrière et du sable recyclé et de sables de dune par la méthode de l'éprouvette graduée.

II.5.2.2.1 Matériel Utilisés :

- ☛ Un récipient
- ☛ Un entonnoir
- ☛ Une balance

II.5.2.2.2 Matériaux Utilisés :

- Un échantillon du sable

II.5.2.2.3 Mode Opérateur :

- ✓ Remplir l'éprouvette avec un volume d'eau $V_1 = 400$ ML.
- ✓ Peser un échantillon sec $M = 300$ g de sable.
- ✓ Introduire le sable dans l'éprouvette graduée en chassant les bulles d'air.
- ✓ Lire le nouveau V_2 .
- ✓ Calculer la masse volumique absolue : $\rho_{abs} = M / (V_2 - V_1)$
- ✓

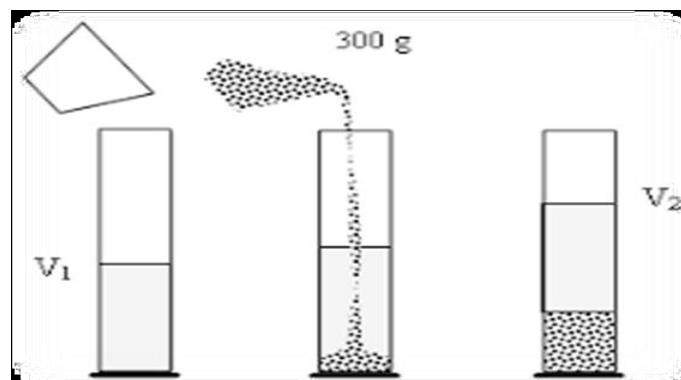


Figure II- 13 Schémas de détermination de la masse volumique réelle (Méthode l'éprouvette).

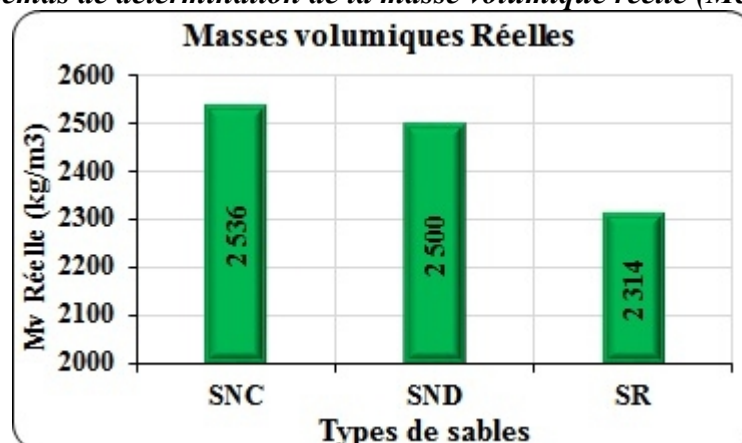


Figure II- 14 Masses volumiques réelles des sables utilisés

D'après les figures II-13 et II-14 que les masses volumique que ce soit apparente ou réelle du sable naturel de carrière (SNC) sont les plus élevées que celles du sable naturel de dune (SND) et du sable recyclé (SR).

II.5.3 Teneur en eau :

La teneur en eau est égale au rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon, elle est déterminée selon la norme NF P 18-554 pour les graviers et NF P 18-555 pour les sables. Elle est déterminée selon la formule suivante :

$$W = \frac{(M - M's)}{(M's)} \times 100 \text{ (\%)}$$

- M en (g): la masse de l'échantillon à sa teneur en eau en l'état.
- M ' s en (g): la masse de cet échantillon, séché sans lavage.



Figure II-15 Séchage des matériaux à l'étuve ($T = 105 \pm 5^\circ\text{C}$)

Tableau II- 7 : Teneur en eau des sables utilisés

Sables	Mh (g)	Ms (g)	W (%)
SN	300	293	2,38
RSR	300	281	6,76
RSC	300	289,3	3,69

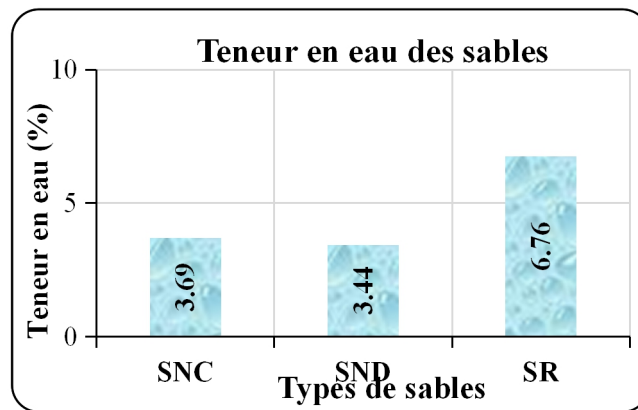


Figure II-16 Teneur en eau des sables utilisés

On remarque de la figure précédente que la teneur en eau du sable recyclé est presque deux fois supérieure à celle des sables naturels de carrière et de dune. Et cela est dû à la présence du mortier de ciment dans le sable recyclé.

II.5.4 Taux d'absorption d'eau

Le taux d'absorption d'eau est déterminé selon les normes NF P 18-554 et NF P 18-555 [34, 35]. Il est déterminé selon la formule (I) suivante :

$$Ab = \frac{(Ma - MS)}{MS} \times 100 (\%)$$

- M_a en (g): la masse de l'échantillon immergé pendant 24h dans l'eau après avoir épongé soigneusement avec un chiffon absorbant l'eau à la surface des granules ou plus connue sous le nom SSS (Saturé à Surface Sèche).
- M_s en (g): la masse de l'échantillon séché à 105°C.



Sable recyclé sec



SR mouillé et mélangé pendant 10 min

Figure II-17 Photos des états de sables recyclés

II.5.5 Equivalent de sable (Mesure de la propreté)

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons et des mortiers. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une

procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci selon la norme NF EN 933-8.



Figure II-18 Photos de l'essai d'équivalent de sable

Tableau II-8 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX1

ES	Nature et qualité du sable
< 60	« Sable argileux » risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité.
$60 \leq ES < 70$	« Sable légèrement argileux » de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
$70 \leq PS < 80$	« Sable propre » à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité.
$ES > 80$	« Sable très propre » l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

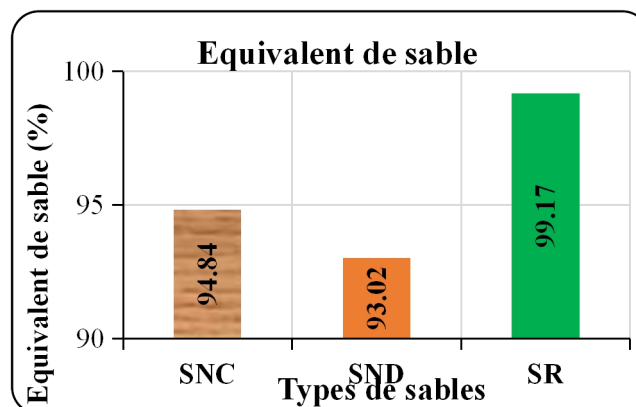


Figure II-19 Equivalent de sable des sables utilisés

L'essai d'équivalent de sable a montré que tous les sables naturels et recyclés sont très propres avec des taux supérieurs à 90%.

II.6 Conclusion :

La caractérisation des matériaux utilisée particulièrement des sables a révélé, comme dans la littérature, que les propriétés chimiques et physiques du sable recyclé sont assez faibles par rapport à celles des sables naturels. Ces derniers sont des sables grossiers et très propres.

Chapitre III

Propriétés des mortiers bâtards

CHAPITRE III :**ELABORATION DES MORTIERS BÂTARDS****III.1 Introduction**

Ce chapitre porte sur l'étude des mortiers bâtards avec du superplastifiant à base des sables recyclés. L'évaluation de l'impact de substitution deux types de sable naturel de différents pourcentages, allant de 0% à 100%, et de sable recyclés. Ce travail concerne l'examen des différentes propriétés des mortiers recyclés à l'état frais et durci.

III.2 Formulation des mortiers bâtards :

La formulation des mortiers bâtards de est réalisée sur la base de :

- ☛ Un rapport "Eau/Ciment = 0,5" et un rapport "Sable/Liant = 3,0",
- ☛ Un dosage en ciment calculé constant pour tous les mélanges, $C = 305$ kg pour un m^3 de mortier bâtard à base de sable de carrière ;
- ☛ Un dosage en chaux calculé constant pour tous les mélanges, $C = 295$ kg pour un m^3 de mortier bâtard à base de sable de dune ;
- ☛ Substitutions du sable naturel, de carrière ou de dune, par le sable recyclé avec différents pourcentages volumiques de : 0, 20, 30, 40, 50, 75 et 100 %,

Calcul de la Formulation des mortiers bâtards :

$$V = 1m^3 \text{ de mortier}$$

$$\text{Eau} + \text{Liant} + \text{sable} = 1m^3$$

$$0,5 \text{ Liant} + \text{Liant} + 3 \text{ Liant} = 1m^3$$

$$4,5 \text{ Liant} = 1m^3$$

$$V (\text{Liant}) = 1/4,5 = 0,222 m^3$$

$$V (\text{eau}) = 0,5 \times \text{Liant} = 0,111 m^3$$

$$V (\text{sable}) = 3 \text{ Liant} = 3 \times 0,222 = 0,666 m^3$$

$$M_V = M/V$$

$$M = M_V \times V$$

- $M_E = 1 \times 0,111 = 111$ kg
- $M_S = 2536 \times 0,666 = 1687$ kg
- $V \text{ Liant (50\% ciment + 50\% chaux)} = V_C + V_{CL}$
 $= 0,111 + 0,111 = 0,222 m^3$
- $M_C = 3100 \times 0,111 = 344$ kg
- $M_{CL} = 3000 \times 0,111 = 333$ kg

Les différentes compositions de mortiers bâtards sont données par les tableaux ci-dessous:

Tableau III- 1 Compositions de mortiers bâtards à base de SNC

Malaxage	% SR	Ciment (g)	Chaux (g)	SNC (g)	SR (g)	E tot. (g)	E/Liant	Adjuvant (% C)
MC0	00 %	305	295	1493	0	464	0,75	00 %
MC20	20 %	305	295	1194	272	464	0,75	1 %
MC30	30 %	305	295	1045	409	464	0,75	1,5 %
MC40	40 %	305	295	896	545	464	0,75	2 %
MC50	50 %	305	295	747	681	464	0,75	3 %
MC75	75 %	305	295	373	1022	464	0,75	5 %
MC100	100 %	305	295	0	1362	464	0,75	5 %

Tableau III- 2 Compositions de mortiers bâtards à base de SND

Malaxage	% SR	Ciment (g)	Chaux (g)	SND (g)	SR (g)	E tot. (g)	E/Liant	Adjuvant (%C)
MD0	00 %	305	295	1472	00	490	0,75	00 %
MD20	20 %	305	295	1177	269	450	0,75	1 %
MD30	30 %	305	295	1030	403	450	0,75	2 %
MD40	40 %	305	295	883	537	450	0,75	2 %
MD50	50 %	305	295	736	672	450	0,75	3 %
MD75	75 %	305	295	368	1007	450	0,75	4 %
MD100	100 %	305	295	0	1343	450	0,75	5 %

A partir des Tableau III-3 et III-4 on note que la quantité d'eau utilisée dans la formulation du mortier bâtards à base de SNC est supérieur à la quantité d'eau utilisée dans la Formulation de mortiers bâtards à base de SND, car le sable naturel concassés (carrière) contient plus de fillers que les sables de dune.

III.2.1 Malaxage et Vibration

La séquence de malaxage, pendant 3 minutes, est la même pour tous les mélanges des mortiers bâtards et afin d'homogénéiser le mélange on a procédé à :

- Malaxage à sec pendant environ une minute :
- le ciment et la chaux
- le sable naturel avec celui recyclé
- Ensuite toutes les composantes.
- Malaxage Humide :

- Malaxage pendant une minute avec la première quantité d'eau (Eau 1 = 70% quantité d'eau).
- Malaxage pendant une minute avec le restant de l'eau de gâchage (Eau 2 = 30% quantité d'eau) contenant la quantité nécessaire du superplastifiant.



Malaxage à sec du ciment et chaux



Malaxage à sec du sable naturel et recyclé

1^{er} Malaxage du mortier2^{ème} Malaxage du mortier*Figure III-2 Etapes de malaxage du mortier bâtard*

III.2.2 Etapes de coulage des éprouvettes

Le coulage des éprouvettes s'est fait en quatre (3) étapes ci-dessous :

☛ Première étape

Dans un premier temps nous avons mis en place les moules puis les avons lubrifié avec de l'huile à moteur afin que le mortier ne se colle pas aux parois des celles-ci.

☛ Deuxième étape

Dans un deuxième temps nous avons rempli le moule à moitié puis vibrer le tout pendant trente (30) secondes afin d'éliminer les vides.

☛ Troisième étape

Dans un troisième temps nous avons rempli totalement le moule puis vibrer le tout une deuxième fois pendant trente (30) secondes , puis rendu uniforme sa face supérieure en la rasant avec la truelle.

III.2.3 Confection et cure des éprouvettes

Les essais sont effectués sur des éprouvettes en mortier de dimensions (4×4×16 cm³) selon les normes NF EN 196-1 et NF P 15-471. A raison de trois éprouvettes par essai et compactés mécaniquement à l'aide d'une table à choc. Les moules ont été couverts de film plastique et stockés dans l'environnement du laboratoire. Après 24 heures, les échantillons ont été démoulés et conservés jusqu'à la période de l'essai dans l'eau à une température de 20 °C. Les résistances mécaniques des mortiers ont été déterminées à l'âge de 7, 28 et 60 jrs selon la norme EN 196-1.

III.2.4 Démoulage et conservation des éprouvettes

Après 24 h de la confection des éprouvettes on a procédé au démoulage des éprouvettes et Afin de déterminer l'influence du milieu de conservation sur le comportement mécanique des différents mortiers, on a les conservé dans deux milieux dans le plastique et l'air, le temps de conservation est 7 , 28 et 60 jours.



Éprouvettes à l'aire libre

Éprouvettes enveloppé en plastique

Figure III-3 Milieux de conservation des éprouvettes

III.3 Caractéristiques des mortiers à l'état Frais

Les propriétés des mortiers étudiées sont la maniabilité et la masse volumique.

III.3.1 Mortier à l'état frais « état plastique »

La propriété la plus importante du mortier plastique est son ouvrabilité. On peut la définir comme la propriété du mortier à s'étaler à la truelle pour colmater toutes les fentes et fissures de l'élément de maçonnerie. En réalité, c'est une combinaison de plusieurs propriétés, comprenant la plasticité, la compacité et la cohérence.

Bien que la classe des sables et la proportion des matériaux jouent un rôle important, c'est la teneur en eau qui détermine les valeurs finales de l'ouvrabilité du mortier.

III.3.1.1 Les masses volumiques apparentes à l'état frais :

Les résultats trouvés de la masse volumique à l'état frais sont représentés par les figures suivantes :

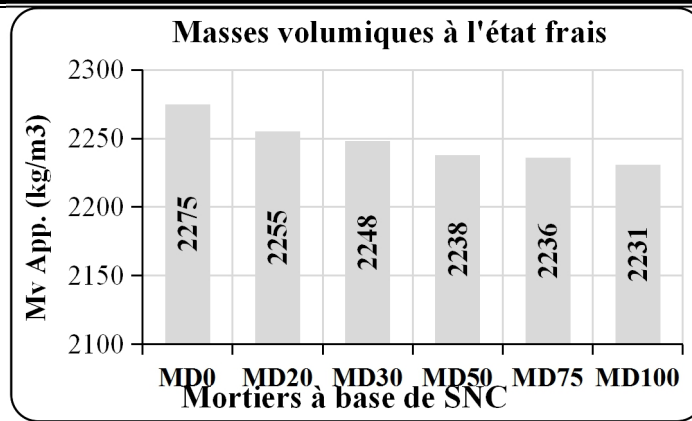


Figure III-4 Masses volumiques des mortiers à base de sable de carrière

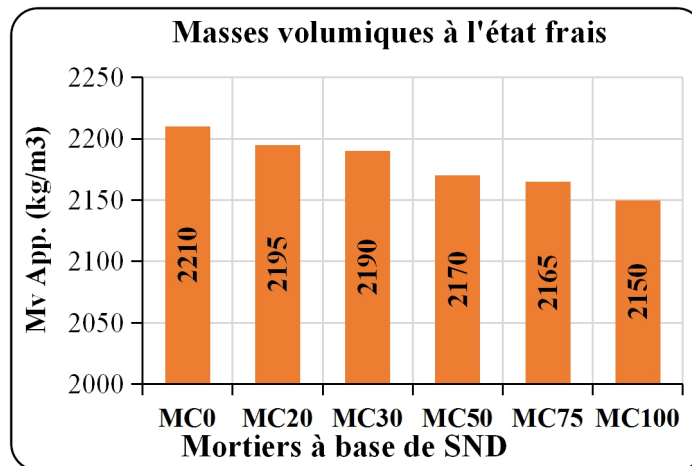


Figure III-5 Masses volumiques des mortiers à base de sable de dune

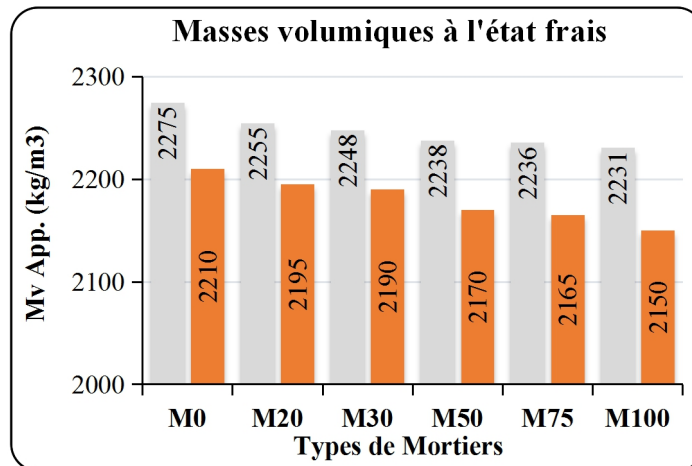


Figure III-6 Comparaison des masses volumiques des différents types de mortiers

Les figures précédentes des masses volumiques de différents types de mortiers bâtards montrent que celles-ci sont influencées par l'incorporation du sable recyclé. Elles diminuent avec l'augmentation du taux du sable recyclé. Elles dépendent aussi de type de sable naturel utilisé. Les mortiers à base de sable de carrière ont des masses volumiques supérieures à celles des mortiers à base de sable de dune. Elles sont liées à la densité du sable utilisé.

III.3.1.2 Mesure de l'ouvrabilité du mortier

L'essai d'étalement est réalisé sur une table mobile comportant un plateau plan relié par charnières à une base rigide. Un moule en forme de tronc de cône de diamètre à la base (D_0) posé au centre du plateau.



Figure III-7 Mesure de l'ouvrabilité

Le moule et le plateau sont préalablement huilés. Le cône est rempli par une quantité de mortier par couches successives, chaque couche est compactée par piquage à l'aide d'une tige. On remonte verticalement le moule sans mouvement latéral et on laisse le mortier s'étaler sur la plaque métallique. En utilisant la manivelle, on applique 15 cycles de chute. Chaque cycle dure entre 1 et 3 secondes. La hauteur de chute du plateau mobile est de 15 mm.





Figure III-8 Etapes de mesure de l'ouvrabilité

III.3.1.2.1 Etapes de mesure l'étalement d'un mortier.

On mesure les différents diamètres (D_i) qu'occupe le mortier étalé sur la table, et on calcule l'étalement comme suit :

$$\text{étalement} = \frac{D_m - D_0}{D_0} \times 100$$

Avec :

D_m : Diamètre moyen du mortier étalé.

D_0 : Diamètre de la base du moule tronconique.

L'ouvrabilité (plasticité) du mortier est en fonction des résultats d'étalement trouvés à l'aide de la table à chocs.

Ouvrabilité	Etalement à la table(%)
Très ferme	10 – 30
Ferme	30 – 60
Normal (plastique)	60 – 80
Mou (très plastique)	80 – 100
Très mou à liquide	➤ 100

III.3.1.3 Mesure de la masse volumique

Cette mesure détermine le rendement volumique de la composition du mortier bâtards frais et permet de vérifier la validité de la formulation théorique.

Pour effectuer cette mesure, on utilise un moule de volume et de masse connus



Figure III-9 Pesage du moule prismatique vide

Figure III-10 Mesure
Masse du moule
remplis de mortier

On le remplit entièrement de mortier et sa surface libre est ensuite arasée. On pèse alors le récipient plein.

Le rapport entre la masse du mortier (masse du moule plein à laquelle on soustrait la masse du moule vide) sur le volume du moule correspond à la masse volumique du mortier frais exprimée en kg/m³.

Le volume du moule utilisé (4x4x16 cm³) est $256 \times 3 = 768$ cm³.

Tableau III- 5 Masses volumiques des mortiers à base de SNC

Mortier	Masse du moule vide (g)	Masse du moule remplis(g)	Volume du Moule (cm ³)	Masse volumique (g/cm ³)
MC0	7515	9430,1	768	2,49
MC20	7525,5	9398,8		2,43
MC30	7539,2	9383,5		2,4
MC40	7516	9285		2,3
MC50	7516,3	9279,1		2,29
MC70	7601,8	9403,6		2,34
MC100	7635	9460		2,37

Tableau III- 6 Masses volumiques des mortiers à base de SND

Mortier	Masse du moule vide (g)	Masse du moule remplis(g)	Volume du Moule (cm ³)	Masse Volumique (g/cm ³)
MD0	7254	9205	768	2,54
MD20	7516	9450		2,51
MD30	7540	9390		2,4
MD40	7588,2	9366,7		2,31
MD50	7613,5	9430,5		2,39
MD70	7686,7	9501,5		2,27
MD100	7670,3	9373,5		2,21

À l'état frais et d'après les tableaux ci-dessus, on remarque que les masses volumiques des mortiers bâtards à base de sable naturel concassé sont légèrement supérieures à celles des mortiers à base de sable de dune et quel que soit le pourcentage du sable recyclé incorporé.

III.4 Propriétés des mortiers à l'état durci

III.4.1 Masse volumique

Après la cure à l'eau, les éprouvettes ont été saturées d'eau. Afin de pouvoir réaliser d'éventuelle essais il a fallu sécher les éprouvette dans l'étuve à la température optimum de 105 °C. Ainsi pour déterminer la masse volumique à l'état sec et durci. Nous avons dans un premier temps séché les éprouvettes dans l'étuve à 105 °C jusqu'à la masse constante.

En effet, les mesures de la masse ont été faites après chaque 24 h de mise des éprouvettes à l'étuve. Une fois la masse constante obtenue, nous avons pu déterminer la masse volumique de chaque éprouvette à l'état sec.



Figure III- 11 Pesage des éprouvettes de mortier à l'état durci

Tableau III- 7 Masse volumique des mortiers à base de SNC :

Type de mortier	Masse (g)	Volume de l'éprouvette (cm ³)	Masse volumique (g/cm ³)
MC0	565,5	256	2,20
MC20	575,3		2,17
MC30	545		2,12
MC40	539,88		2,10
MC50	534,5		2,08
MC70	526		2,05
MC100	523,5		2,04

Tableau III- 8 Masse volumique des mortiers à base de SND :

Masses volumiques (kg/m ³)	Type de mortier	Masse (g)	Volume de l'éprouvette (cm ³)	Masse volumique (g/cm ³)
	MD0	545,66	256	2,13
	MD20	540		2,13
	MD30	531,5		2,10
	MD40	524		2,07
	MD50	520		2,04
	MD75	519,5		2,03
	MD100	518,2		2,02

Figure III- 12 Comparaison des masses volumiques des différents mortiers

A l'état durci, on constate, d'après la figure 3.9, une légère diminution des masses volumiques des mortiers à base de sable de dune par rapport à celle des mortiers à base de sable de carrière quel que soit le taux du sable recyclé. Cette différence est liée aux masses volumiques du sable composant.

III.4.2 Résistances Mécaniques

III.4.2.1 Résistance à la traction par flexion :

L'essai de traction par flexion a été réalisé sur des éprouvettes prismatiques 40×40×160 mm³, selon la norme [NF P15-471]. La valeur de la résistance considérée est la moyenne des valeurs d'écrasement de trois éprouvettes et la résistance à la flexion est calculée selon l'équation :

$$R_t = \frac{1,5 \cdot F_t \cdot L}{b^3}$$

- **L** : Distance entre axes des rouleaux d'appuis de l'éprouvette (L= 100 mm)
- **Rt** : Résistance à la traction en MPa.
- **Ft** : Charge à la rupture en (N).
- **b** : Largeur de la section carrée du prisme en mm (b = 40 mm).

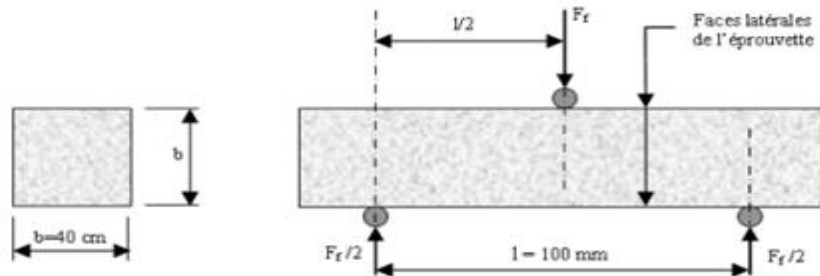


Figure III- 13 Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion.

III.4.2.2 Résistance en compression uni-axial :

La résistance à la compression des mortiers de ciment est déterminée sur les deux parties résultant de l'éprouvette soumise à l'essai de résistance à la flexion.



Figure III- 14 Dispositif de flexion à 03 points

Par définition, la contrainte de compression uniaxiale est la force divisée par la surface :

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

Avec :

- **F** : est la charge appliquée en (N)
- et **S** : est la section transversale en (mm²)

L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture. La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. Les résistances en compression ont été évaluées en utilisant une machine d'essai en compression hydraulique permettant d'appliquer des charges, pourvue d'un dispositif de compression (figure 3-12) pour les moules de mortier. La valeur de la résistance considérée constitue la moyenne de la contrainte d'écrasement de cinq échantillons.



Figure III- 15 Dispositif de l'essai de compression

III.4.3 Résultats des essais mécaniques :

III.4.3.1 Première série : à base de SNC

III.4.3.2 Résultats à la traction par flexion :

Les résistances à la traction par flexion des différents mortiers bâtards à 7, 28 et 60 jours sont présentées dans les figures suivantes :

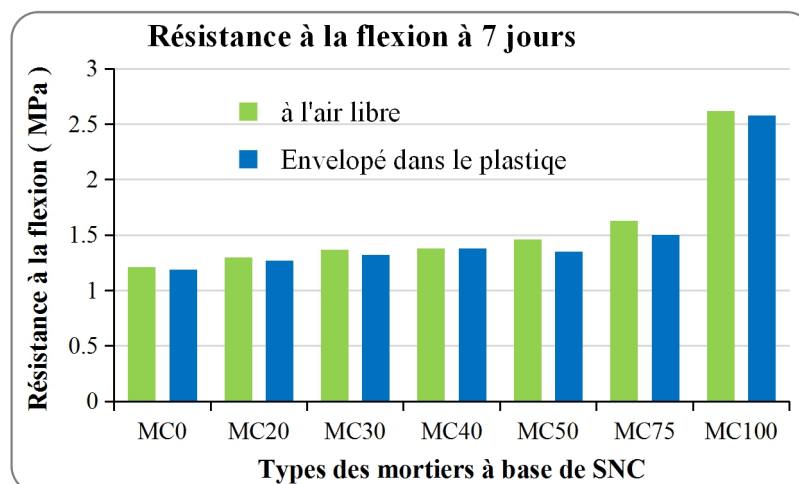


Figure III- 16 Résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SNC à 7 jours

A jeune âge à 7 jours, et à travers les figures 3.13 et 3.14, on remarque que les résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SNC, sont presque identiques quel que soit le milieu de conservation soit à l'air libre ou protégé par le plastique.

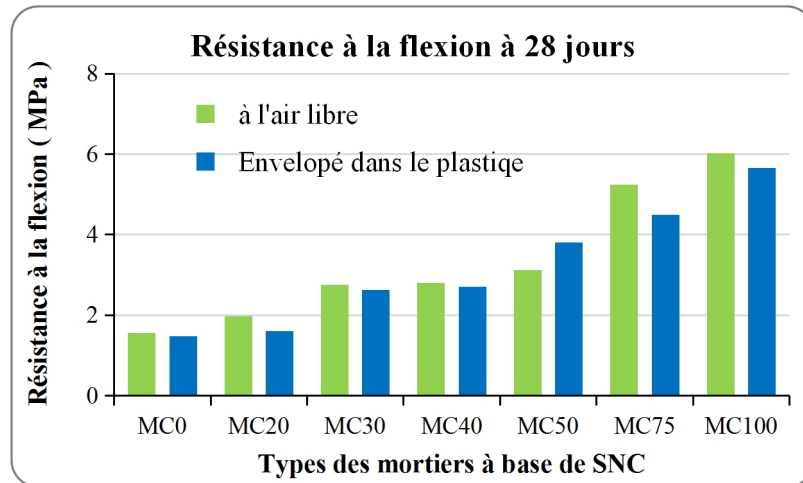


Figure III- 17 Résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SNC à 28 jours

La même remarque enregistrée à 07 jours est constaté à 28 jours. Les résistances à la flexion des deux types de mortiers sont presque identiques sauf pour ceux contenant plus de sable recyclé (75% et 100 %).

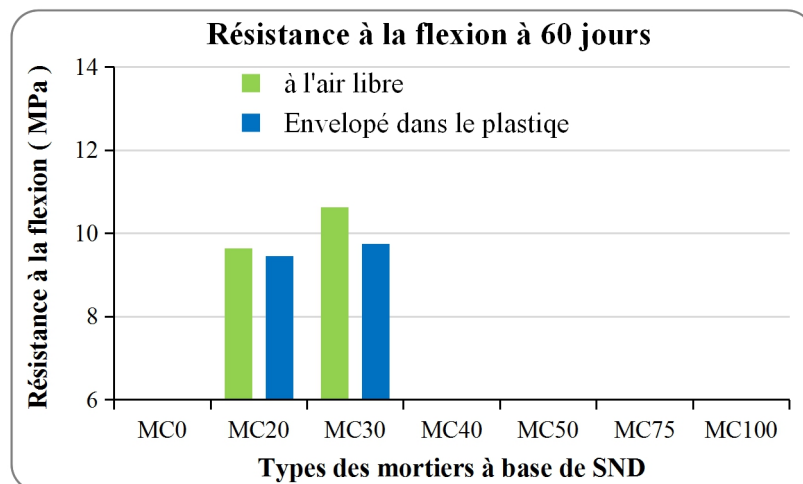


Figure III- 18 Résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SNC à 60 jours

On constate à travers les résultats des résistances à la flexion à 60 jours présentés sur la figure précédente, que tous les mortiers à base de SNC à l'aire libre ont des résistances meilleures que les mortiers enveloppés dans le plastique.

III.4.3.3 Résultats en compression simple uni-axial :

Les résistances en compression simple des différents mortiers bâtards à 7, 28 et 60 jours sont présentées dans les figures suivantes :

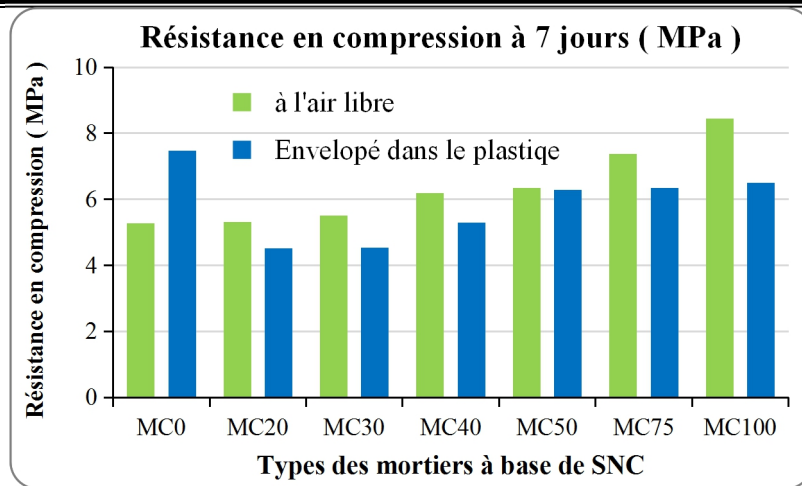


Figure III- 19 Résistances en compression des mortiers bâtards à base de SNC à 07 jours

A jeune âge et à 07 jours, les résistances en compression des mortiers conservées dans l'air libre sont meilleures que celles enveloppées dans le plastique. Toutes les résistances, indépendamment du milieu de conservation, augmentent avec l'augmentation du taux du saient. Dont l'influence du superplastifiant est remarquable.

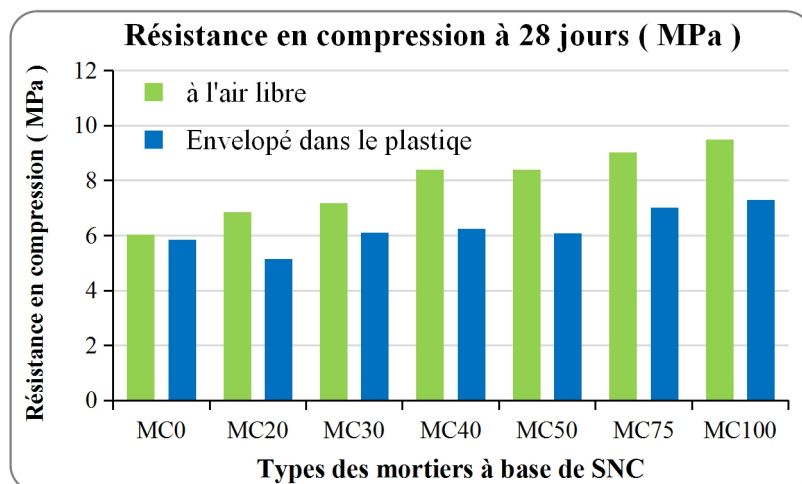


Figure III- 20 Résistances en compression des mortiers bâtards à base de SNC à 28 jours

A 28 jours de conservation la même remarque au jeune âge est constatée. L'influence du superplastifiant est toujours distinguée avec l'augmentation du taux de substitution du sable naturel par le recyclé.

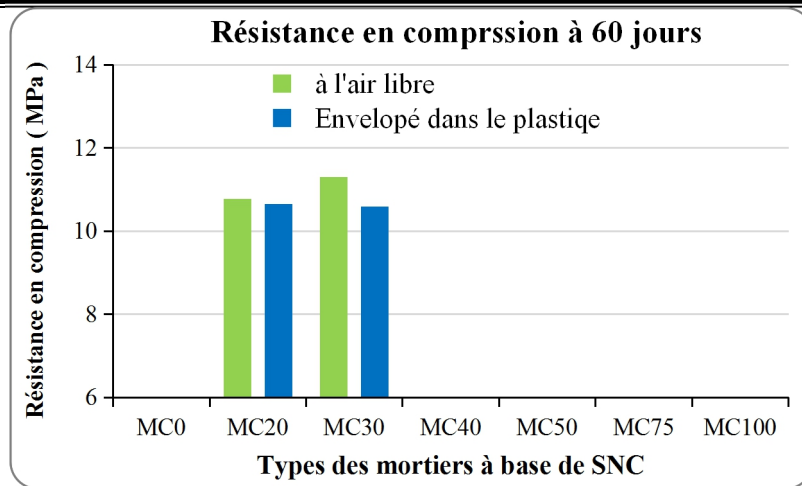


Figure III- 21 Résistances en compression des mortiers bâtards à base de SNC à 60 jours

III.4.3.4 Deuxième série : à base de SND

III.4.3.5 Résultats à la traction par flexion :

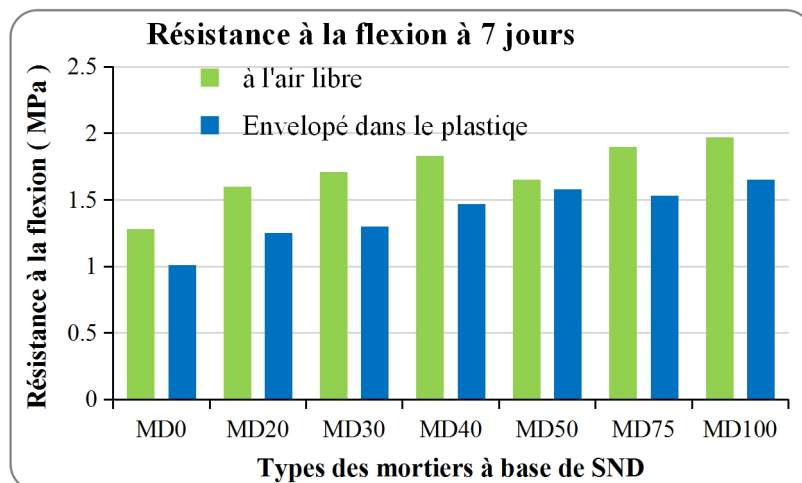


Figure III- 22 Résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SND à 07 jours

On constate à travers les résultats présentés sur la figure III- 233, que les résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SND enregistrent un optimum pour 40 % de sable recyclé à l'air libre et de 50 % pour les mortiers protégés par du plastique.

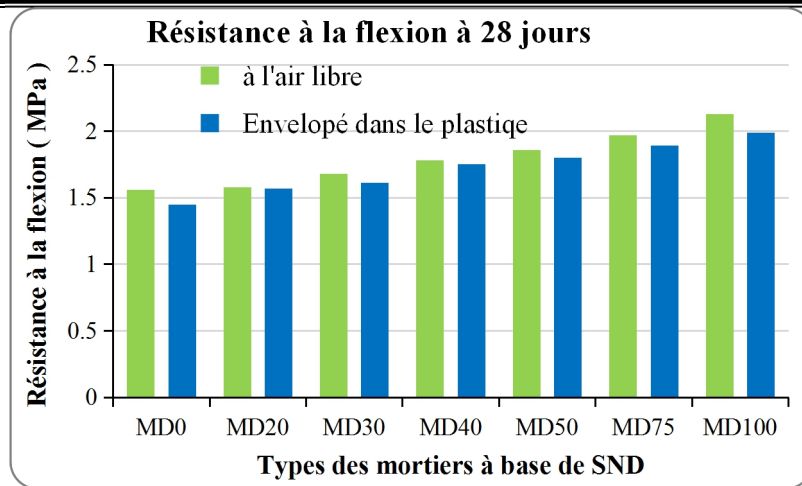


Figure III- 24 Résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SND à 28 jours

A 28 jours on remarque que les résistances à la flexion des mortiers bâtards à base de SND augmentent avec l'augmentation du taux du superplastifiant, c.à.d. avec l'augmentation du taux du sable recyclé. Cependant, une légère différence de résistance des mortiers conservé dans les deux milieux à l'air libre et enveloppés dans du plastique.

III.4.3.6 Résultats en compression simple uni-axial :

Les résistances en compression simple des différents mortiers bâtards à 7, 28 et 60 jours sont présentées dans les figures suivantes :

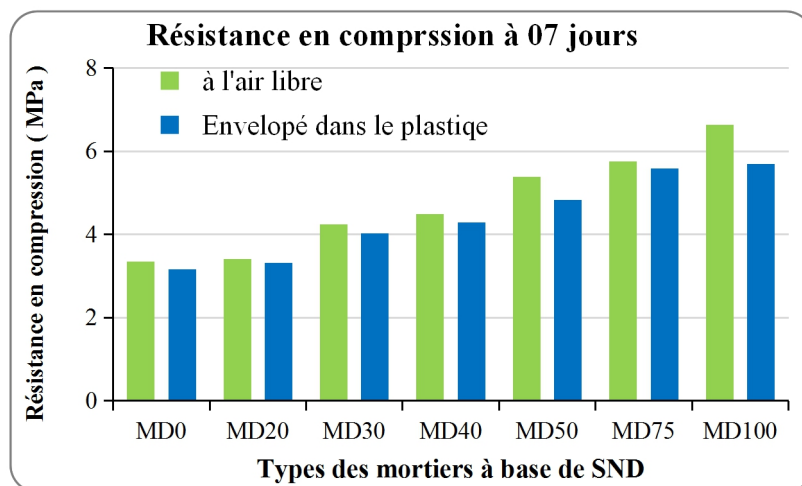


Figure III- 25 Résistances en compression des mortiers bâtards à base de SND à 07 jours

Comme les mortiers à base de sable de carrière, les résistances en compression des mortiers à base de sable de dune et à 07 jours les résistances en compression augmentent considérablement avec l'augmentation du superplastifiant qui est lié au taux du sable recyclé. Cependant le milieu à l'air libre est le plus favorable.

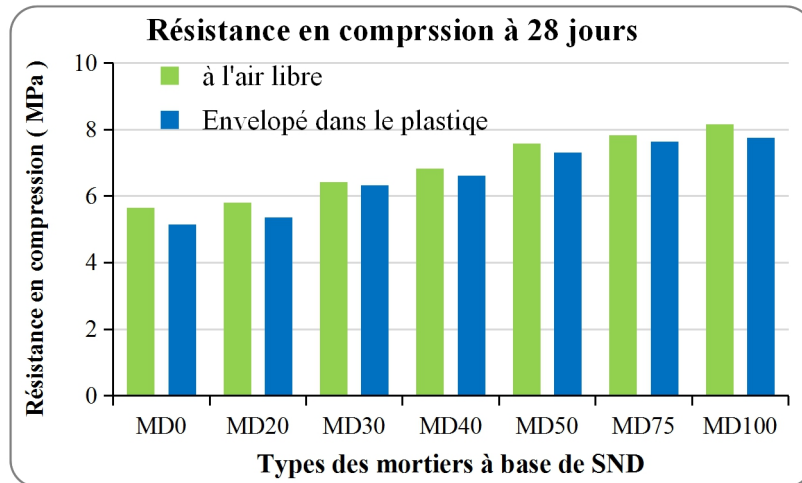


Figure III- 26 Résistances en compression des mortiers bâtards à base de SND à 28 jours

Les résistances des mortiers à base de sable de dune et à 28 jours de maturation, une légère différence est constaté, d'après la figure III-26, entre ceux conservés protégé et ceux exposé à l'air libre.

III.4.3.7 Influence du milieu de conservation sur les résistances des mortiers bâtards

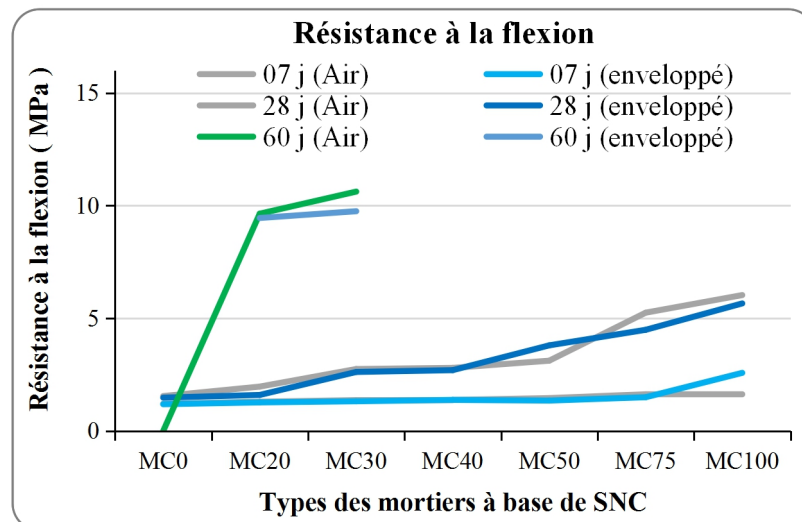


Figure III- 27 Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards à base de SNC

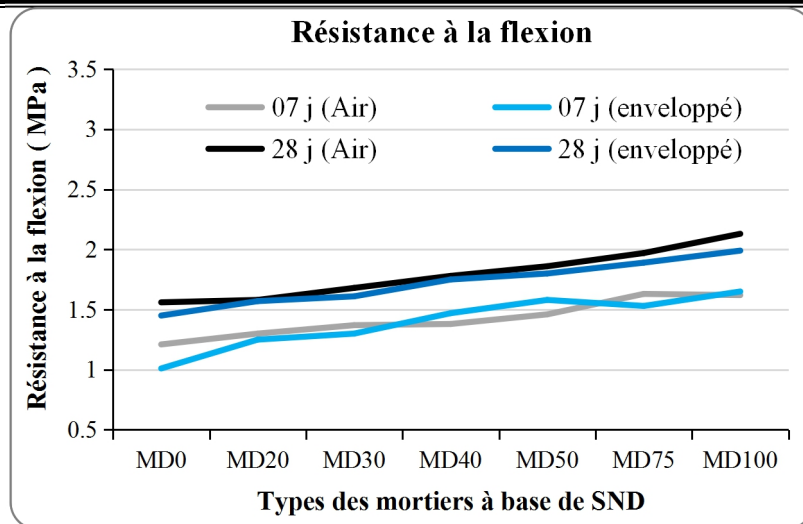


Figure III- 28 Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards à base de SND

La première remarque constaté d'après les figures III-27 et III-28 que le milieu air libre est mieux adapté aux mortiers bâtards (50 % ciment et 50 % chaux). La deuxième remarque est que l'évolution de la résistance est la même pour tous les mortiers, elles ont la même cinétiques. Notant aussi que les résistances à la traction par flexion sont remarquablement faibles, aucune résistance n'a dépassé les 2,5 MPa.

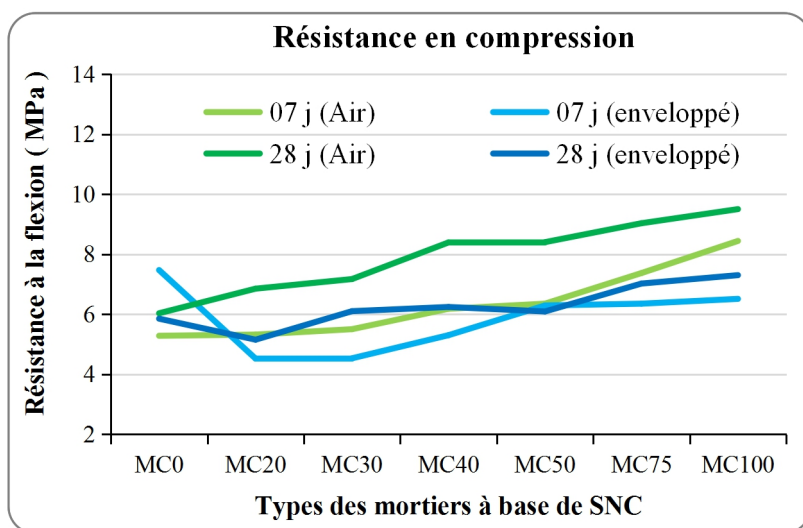


Figure III- 29 Résistances en compression des différents mortiers bâtards à base de SNC

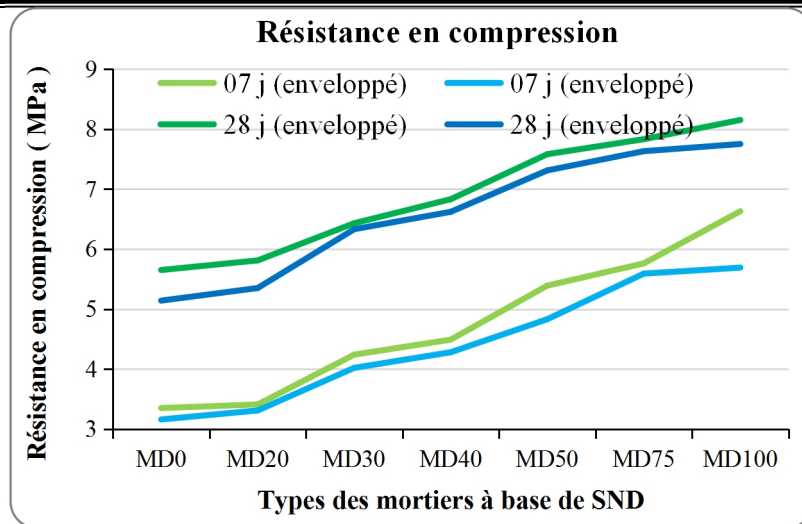


Figure III- 30 Résistances en compression des différents mortiers bâtards à base de SND

D'après les figures III-29 et III-30, toutes les résistances en compression et toute âge augmentent avec l'augmentation du superplastifiant et beaucoup plus pour les mortiers à base de sable de dune.

III.4.3.8 Influence de la nature des sables sur les résistances des mortiers bâtards

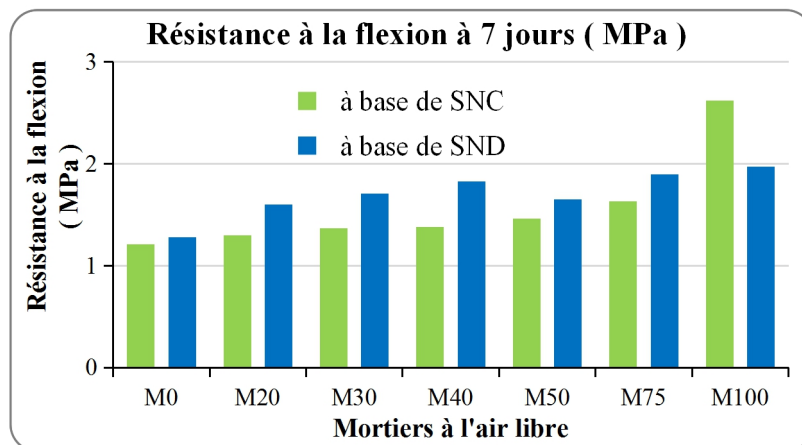


Figure III- 31 Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards (à l'air libre) à 07 jours

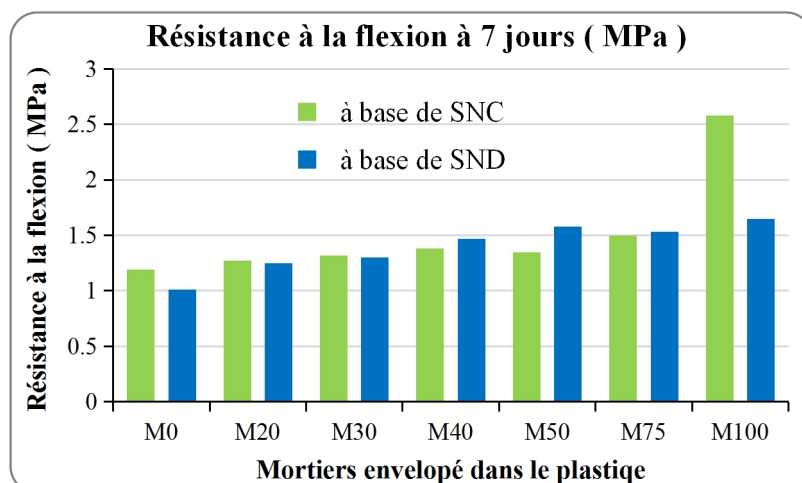


Figure III- 32 Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards (enveloppés dans le plastique) à 07 jours

Les résistances à la flexion à 07 jours des mortiers à base de sable de dune sont meilleures que celles des mortiers à base de sable de carrière et beaucoup plus pour les éprouvettes disposés à l'air libre.

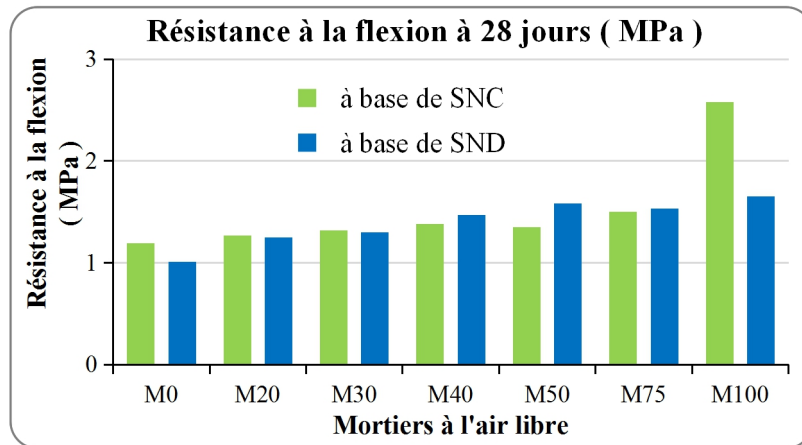


Figure III- 33 Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards (à l'air libre) à 28 jours

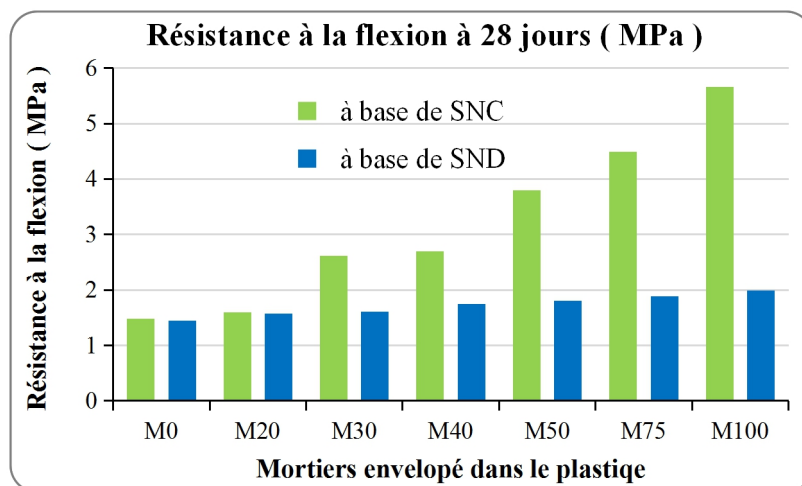


Figure III- 34 Résistances à la flexion des différents mortiers bâtards (enveloppés dans le plastique) à 28 jours

A 28 jours de maturation, on a constaté l'inverse à l'âge de 07 jours, les mortiers à base de sable de carrière sont meilleures que celles des mortiers à base de sable de dune, particulièrement pour les mortiers protégés par du plastique.

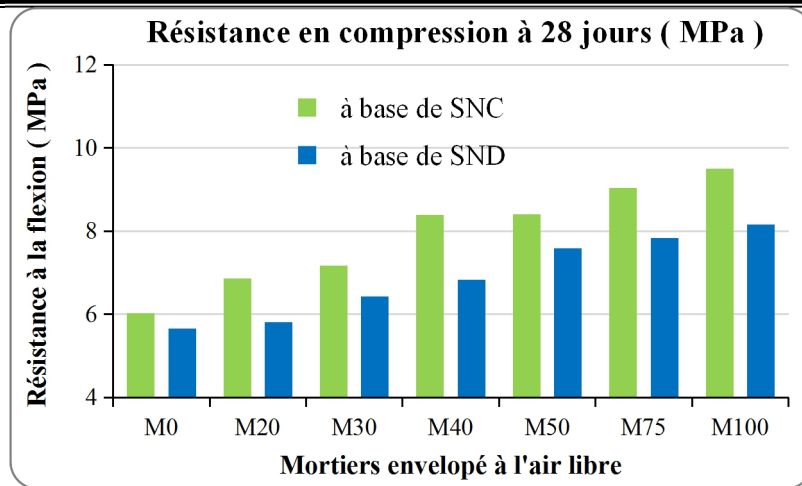


Figure III- 35 Résistances en compression des différents mortiers bâtards (à l'air libre) à 28 jours

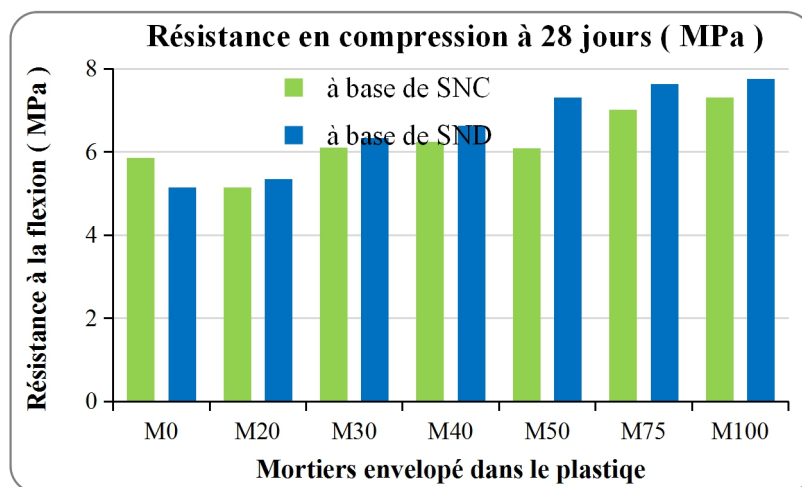


Figure III- 36 Résistances en compression des différents mortiers bâtards (enveloppés dans le plastique) à 28 jours

A 28 jours de conservation les résistances en compression à l'air libre des mortiers à base de sable de carrière sont meilleures que ceux à base de sable de dune. Et inversement pour les mortiers protégés dans le plastique, ceux à base de sable de dune sont légèrement supérieurs à ceux à base de sable de carrière caractérisé par des grains anguleux et contenant plus de fines.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Le présent travail s'intéresse à l'effet de l'utilisation du sable recyclé sur les propriétés à l'état frais et durci de deux séries mortiers bâtards (50% ciment et 50% chaux) et a plasticité constante : l'un à base de sable naturel de carrière et l'autre à base de sable naturel de dune avec incorporation du sable recyclé avec des taux variables de 0, 20,30,40,50,75 et 100% dans les deux séries. Les résultats de cette étude ont montré que :

1. Le sable recyclé a des caractéristiques chimiques et physiques plus faibles que les sables naturels.
2. Le superplastifiant joue un double rôle : maintenir la plasticité désirée et améliore considérablement les résistances mécaniques.
3. Les masses volumiques des mortiers à base de sable de carrière sont plus élevées que celles des mortiers à base de sable de dune et elles diminuent avec l'augmentation du d'incorporation du sable recyclé.
4. Les résistances des mortiers bâtards à la traction par flexion sont plus faibles pour tous les mortiers.
5. Des optimums enregistrés pour les résistances à la flexion : 40 % pour les mortiers à base de sable de carrière et 50 % pour les mortiers à base de sable de dune.
6. Les résistances en compression des mortiers exposés à l'air libre évoluent rapidement que les mortiers protégés.
7. Les meilleures résistances mécaniques à 28 jours enregistrées pour des mortiers bâtards à bases de sable de carrière et exposés à l'air libre, cela est à l'influence de la chaux.

Reste à étudier les indicateurs du durabilité de ces mortiers bâtards.

Références bibliographique

Références bibliographique

- [01] : Fiches techniques. CT-G10. Chapitre2. Les constituants des bétons et des mortiers. Les granulats pour béton. Page 32. janvier 2013
- [02] : Fiches techniques. Les bétons : formulation, fabrication et mise en oeuvre. Page 96-110-120-129. Réédition janvier 2013
- [3] : R. MAILLOT, "Mémento technique des Granulats", les Presses de l'Ecole des Mines, Paris, 166 p., (2001).
- [4] : Degussa construction chemicals france, "La Technologie du Béton", Guf\ Formation\ Béton\ Technobeton V05_01U, 140 p.
- [5] : J. BARON, et R. SAUTREY, "Le béton hydraulique", Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 560 p., (1982).
- [6] : V. PHOUMMAVONG, "Cours en ligne matériaux de construction", Université Nationale du Laos, <http://www.la.refer.org/materiaux/>
- [7] : A. M. NEVILLE, "Propriétés des bétons", traduit par le CRIB, Edition Eyrolles, 806 p., (2000).
- [8] : G. ARQUIE & C. TOURENQ, "Granulats", Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, 717 p., (1990).
- [9] : J. ALEXANDRE & J. SEBILEAU, "Laitier de haut fourneau", Centre Technique et de Promotion des Laitiers, Paris édition, 340 p., (1988).
- [10]: S. HACHAICHI, "Substitution de Sable roulé par les déchets de carrières et de hauts fourneaux dans le béton", Thèse de Magister, 92 p., (2008).
- [11] : Le LERM, "Déchets de chantiers de bâtiment", enquête CEBTP/DEMAIN pour FFB et ADEME, (1999).
- [12]: ADEME, "Guide des déchets de chantiers de bâtiment", Paris, (1998).
- [13]: H. DJELAL & V. NOUVEL, "Gestion des déchets de démolition et environnement", XXVIe Rencontres Universitaires de Génie Civil, Nancy, 8 p., (2008).
- [14]: N. BOURMATTE, "Granulats Recyclés de substitution pour Bétons Hydrauliques, Caractérisation, Performances, Durabilité", Thèse de Magister, Université Mentouri de Constantine, 159 p., (2005).
- [15]: M. QUEBAUD, "Caractérisation des granulats recyclés : Étude de la composition et du comportement de bétons incluant ces granulats", Thèse de doctorat, Université d'Artois, 247 p., (1996).

- [16]: RILEM, "*Demolition and Reuse of concrete*", Report of technical committee, 37-DRC, T.C Hansen, E&FN SPON, 305 p., (1988).
- [17]: F. PELLERIN, "Caractérisation des granulats recyclés fabriqués avec du béton de ciment et des enrobés bitumineux pour utilisation dans les fondations routières", Thèse de master es sciences, Université de Laval, 165 p., (2000).
- [18]: C. CIMPELLI, "Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'ile-de-France : Les bétons et produits de démolition recyclés", 43 p., (1996).
- [19]: T. C. HANSEN, "*Recycled aggregates and recycled aggregate concrete second state-of-the-art report developments 1945-1985*", demolition and recycling of concrete, 19(3),pp:201-246, (1986). (rapporté par [13])
- [20]: H. HUSSAIN & D. LEVACHER, "*Recyclage de béton de démolition dans la fabrication des nouveaux bétons*", XXI^{èmes} Rencontres Universitaires de Génie Civil, (2003).
- [21]: A. CHAREF, "La problématique des granulats au Maroc", Push-Button Publishing, (2007).
- [22]: Solyman M. (2005). Classification of Recycled Sands and their Applications as Fine Aggregates for Concrete and Bituminous Mixtures. Doktor-Ingenieurs Dissertation, Fachbereich Bauingenieurwesen der Universitat Kassel, Kassel
- [23]: Padmini A. K., Ramamurthy K., Mathews M. S. (2009). Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(2), 829-836.
- [24]: Pacheco-Torgal F., Tam V. W. Y., Labrincha J. A., Ding Y., de Brito J. (2013). Handbook of recycled concrete and demolition waste. Woodhead Publishing, Oxford.
- [25]: Hansen T. C. (1992). In: "Recycling of Demolished concrete and Masonry"- Report of Technical Committee 37-DRC (Demolition and Reuse of concrete), Ed. Hansen T. C., Rilem Report 6, 336.
- [26]: Zega C. J., Di Maio A. A. (2011). Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements. *Waste Management*, 31(11), 2336-2340.
- [27]: Kou S. C., Poon C. S. (2009a). Properties of concrete prepared with crushed fine stone, furnace bottom ash and fine recycled aggregate as fine aggregates. *Construction and Building Materials*, 23(8), 2877-2886.
- [28]: Evangelista L., de Brito J. (2010). Durability performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 32(1), 9-14.
- [29]: Pereira P., Evangelista L., de Brito J. (2012b). The effect of superplasticizers on the mechanical performance of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 34(9), 1044-1052.

- [30]: Evangelista L., Guedes M., de Brito J., Ferro A. C., Pereira M. F. (2015). Physical, chemical and mineralogical properties of fine recycled aggregates made from concrete waste. *Construction and Building Materials*, 86, 178-188.
- [31] : A. M. NEVILLE, "*Propriétés des bétons*", traduit par le CRIB, *Edition Eyrolles*, 806p., (2000).
- [32] : Norme européenne EN 206-1, Béton partiel. Spécification, performances, Production *conformité*", (2002).
- [33]: V. W. Y. TAM, "Aggregate testing using 2nd-, 7th- and 10th-order interpolation polynomials", *Resources, Conservation and Recycling*, 52(1), pp: 39-57, (2007).
- [34] : Norme Française EN 12-620, "*Granulats pour béton hydraulique*", (2004).
- [35] : L. MIREN ETXEBERRIA, "*Experimental Study on Microstructure and Structural Behaviour of Recycled Aggregate Concrete*", Thèse de doctorat, Université polytechnique de Catalogne - Espagne, 242 p., (2004).
- [36]: R.S. RAVINDRARAJAH M. STEWARD & D. GRECO, "*Variability of Recycled Concrete Aggregate and its Effects on Concrete Properties*", 2nd International Conference on Engineering Materials, San Jose, USA, (2001).
- [37] : R. MAILLOT, "*Mémento technique des Granulats*", *les Presses de l'Ecole des Mines Paris*, 166 p., (2001).
- [38]:CH. GHERDAOUI, "*Influence des fines minérales sur les propriétés mécaniques et la durabilité du béton à base de sable de carrières de la région de Guelma*" *Mémoire de Magister*, Université Badji M. - Annaba, 94 p., (2007).
- [39]: J. BARON & J. P OLIVIER, "*Les bétons bases et données pour leur formulation*", Association technique de l'industrie des liants hydrauliques, R. BERTRANDY et C. PIKETTY, "*Les granulats pour bétons*", 2eme tirage, Edition Eyrolles, 522 p., (1997).
- [40] : Norme Européenne EN 1367-1, "*Résistance à l'alternance gel-dégel*",
- [41]: A. AJDUKIEWICZ & A. KLISZCZEWICZ, "*Influence of recycled aggregate on mechanical properties of HS/HPC*", *Cement & Concrete Composites*, 24(2), pp:269-279, (2002).
- [42]: I. B. TOPÇU & S. SENDEL, "*Properties of concretes produced with concrete aggregate*", Civil Engineering Department, Université d'Osmangazi, Turkey, (2004).
- [43]: V. W. Y. TAM, X. F. GAO & C. M. TAM, "*Micro-structural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach*", *Cement & Concrete Research*, 35(6):1195-1203, (2005).

- [44]: D. SANI, G. MORICONI, G. FAVA & V. CORINALDESI, "*Leaching and mechanical behaviour of concrete manufactured with recycled aggregates*", Waste Management, 25(2), pp:177-182, (2005).
- [45]: Ulsen C., Kahn H., Hawlitschek G., Masini E. A., Angulo S. C., John V. M. (2013). Production of recycled sand from construction and demolition waste. *Construction and Building Materials*, 40, 1168-1173.
- [46]: Nguyen, Vu Nam; (2016). Valorisation de fines et granulats issus de bétons recyclés comme matériaux cimentaires. Thèse de doctorat en génie civil : Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier), France.
- [47]: Cassagnabère, F.; Mouret, M.; Lachemi, M.; Escadeillas, G.; Rakotoarimanga, A. et Bertrand, A.; (2012). Impact du taux de substitution de sable recyclé sur les propriétés d'un mortier étuvé. Colloque International Francophone NoMaD2012, LMDC/AUGC, Toulouse - France.
- [48]: Evangelista, L. and de Brito, J.; (2007). Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cem. Concr. Compos.*; 29[5]: 397-401.
- [49]: Zega, C. J., and Di Maio, Á. A.; (2011). Use of recycled fine aggregate in concretes with durable requirements. *Waste Manage*; 31[11]: 2336-2340.
- [50]: Khatib, J.M.; (2005). Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate. *Cem. Concr. Res.*; 35[4]: 763-769.
- [51]: Zhao, Z.; Remond, S.; Damidot, D. and Weiya, Xu; (2015). Influence of fine recycled concrete aggregates on the properties of mortars. *Constr. Build. Mater.*; 81: 179-186.
- [52]: Ji, T.; Chen, C.Y.; Chen, Y.Y.; Zhuang, Y.Z.; Chen, J.F. and Lin, X.; (2013). Effect of moisture state of recycled fine aggregate on the cracking resistibility of concrete. *Constr. Build. Mater.*; 44: 726-733
- [53]: Baron J. et Olivier J. P.; (1997). Les bétons, bases et données pour leur formulation. Association technique de l'industrie des liants hydrauliques. 2^{ème} tirage, Edition Eyrolles.
- [54]: Miren Etxeberria, L.; (2004). Experimental Study on Microstructure and Structural Behaviour of Recycled Aggregate Concrete. Thèse de doctorat : Université polytechnique de Catalogne - Espagne.
- [55]: Neville, A.M.; (2000). Les propriétés du béton, Paris, Edition Eyrolles.
- [56]: Topçu, I. B. and Sengel, S.; (2004). Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. *Cem. Concr. Res.*; 34: 1307-1312.
- [57]: Tavakoli, M. and Soroushian, P.; (1996). Strengths of recycled aggregate concrete made using field- demolished concrete as aggregate. *ACI materials Journal*. 93[2]: 178-181.

- [58]: Sánchez de Juan M. and Gutiérrez, P. A.; (2004). Influence of recycled aggregate quality on concrete properties. International RILEM conference on the use of recycled materials in buildings and structures. Barcelona, Spain.
- [59]: W. Pietsch, "Agglomeration processes," *VCH*, vol. 129, no. 1–3, p. 161, Jan. 2002.
- [60]: R. Collet, "Critères de malaxabilité des mélanges granulaires humides," Université de Toulouse, 2010.
- [61]: NF EN 1097-6, "Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats Partie6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau," 2001.
- [62]: ASTM C 127-07., "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate 1," in *ASTM*, 2007, pp. 1–6.
- [63]: BS 812: part 2, "testing aggregates-part 2: methods for determination of density," in *BS*, 1995.
- [64]: V. W. Y. Tam, X. F. Gao, C. M. Tam, and C. H. Chan, "New approach in measuring water absorption of recycled aggregates," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 3, pp. 364–369, Mar. 2008.
- [65]: A. Djerbi Tegguer, "Determining the water absorption of recycled aggregates utilizing hydrostatic weighing approach," *Constr. Build. Mater.*, vol. 27, no. 1, pp. 112–116, Feb. 2012.
- [66]: A. Z. Bendimerad, E. Roziere, and A. Loukili, "Combined experimental methods to assess absorption rate of natural and recycled aggregates," *Mater. Struct.*, 2014.
- [67]: ASTM C128-04, "Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of fine aggregate," no. August, pp. 1–6, 2004.
- [68]: IFSTTAR, "Méthode essai n°78 - Essai sur granulats pour béton. Mesure de l'absorption totale d'eau par un sableconcassé," 2011.
- [69]: J. S. Dana and R. J. Peters, "Experimental moisture determination for defining saturated surface dry state of highway aggregates," Arizona Highway Department, 1974.
- [70]: P. S. Kandhal, R. B. Mallick, and M. Huner, "Development of new test method for measuring bulk specific gravity of fine aggregates," National Center for Asphalt Technology - Alabama, 1999.
- [71]: P. Gentilini, O. Yazoghli-Marzouk, V. Delmotte, and Y. Descantes, "Determination of the water content of fillerised fine aggregates in the saturated surface dry state," *Constr. Build. Mater.*, vol. 98, pp. 662–670, 2015.
- [72]: J.-M. Mechling, A. Lecomte, and K. Merriaux, "Mesure de l'absorption d'eau des additions minérales des bétons par évaporométrie," *Mater. Struct.*, vol. 36, pp. 32–39, 2003.

- [73]: Z. Zhao, "Valorisations des fines de concassage de béton pour la fabrication de mortiers," Université Lille 1, 2014.
- [74]: C. S. POON & C. S. LAM, "The effect of aggregates-to-cement (A/C) ratio and types of aggregates on the properties of pre-cast concrete blocks", *Cement & Concrete Composites*, 30(4), pp:283-289, (2008).
- [75]: R.S. RAVINDRARAJAH, M. STEWARD & D. GRECO, "*Variability of Recycled Concrete Aggregate and its Effects on Concrete Properties*", 2nd International Conference on Engineering Materials, San Jose, USA, (2001).
- [76]: T. MUKAI, M. KIKUCHI & N. ISHIKAWA, "*Study on the properties of concrete containing recycle concrete aggregate*", Cement Association of Japan, 32d review, (1978), (rapporté par [39]).
- [77]: T.C. HANSEN & H. NARUD, "*Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate*", *Concrete International- design and construction*, 5(1), pp: 79-83, (1983).
- [78]: A. NEALEN & S. SCHENK, "The influence of recycled aggregate core moisture on freshly mixed and hardened concrete properties", In *Darmstadt concrete*, Annual Journal 13, TU Darmstadt, (1998).
- [79] : Sandrine Braymand, Sébastien Roux, Déodonne Kuwufine, Cristian Constantin Mihalcea, Françoise Feugeas, Christophe Fond « Les granulats recyclés de bétons : un matériau à fort potentiel de valorisation dans les bétons »
- [80] Van Minh NGUYEN, Mémoire Master 2 Recherche, "Formulation de caractérisation de bétons et mortiers à base de granulats recyclés
- [81] : Norme NF EN 933-1 : l'analyse granulométriques
- [82] Norme NFP 18-540. : Module de finesse
- [83] Norme NF P18 -560. : Masse volumique apparente
- [84] Norme NF P18 -560 : masse volumique réelle
- [85] Norme NF P 18-555 : Teneur en eau
- [86] Norme NF P 18-554 et NF P 18-555 : Taux d'absorption d'eau
- [87] Norme NF EN 933-8. : Equivalent de sable
- [89] Norme NF EN 1008 : L'eau de gâchage
- [90] Norme NF EN 934-2. : Adjuvants
- [91] Norme NF EN 196 – 3 : consistance normale
- [92] Norme NF P15-431 : Mesure du temps de prise :
- [93] Norme NF EN 1097-6 : Masse volumique apparente de ciment

- [94] Norme NF EN 1097-7 : Masse volumique absolue de ciment
- [95] Norme NF EN 196-1 : Masse volumique absolue de la chaux
- [96] Norme EN 196 : Masse volumique absolue de la chaux
- [97] Norme NF EN 196-6 : Surface Spécifique Blaine
- [98] : SALMI SARA, «Etude de l'influence du laitier granulé sur le comportement des mortiers à haute température», mémoire de master en génie civil, Université de M'Sila.
- [99] : MICHEL VENUAT, " La pratique des ciments mortiers et bétons ", Tome 1, Caractéristiques des liants et des bétons, Mise en œuvre des coulis et mortiers, Editions duMoniteur.
- [100] : MOUNIR BELLEM « valorisation des déchets plastiques pour l'amélioration des performances mécaniques des mortiers »mémoire de master, université de M'sila, juin 2013.
- [101] : Cours MDC, Licence université de M'Sila.
- [102] : CIM BETON, les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre, tome2, 137 p.
- [103] : BOUALI KHALED «élaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires» mémoire de magister Bouali Khaled université de Boumerdes 2013/2014.
- [104] : DR. P.BOERAEVE : " Composition du béton", Cours de béton armé, 2008.
- [105] : P. SYLVER, science des matériaux, université pierre et marie curie 2005, 2006

Annexes

Annexe 1: La fiche technique du ciment CEM II 42,5, élaborée par le laboratoire de l'usine "Hadjar Essoud" - Skikda.

CARACTERISTIQUE CHIMIQUE		CARACTERISTIQUE PHYSIQUE		CARACTERISTIQUE MECANIQUE	
CODE	% EN MASSE	CODE		CODE	EN MPA
NA 235	PAF 975°C 1 - 5	NA230	CONSISTANCE NORMAL 25 - 27,5	NA 234	RESISTANCES A LA COMPRESSION
NF P15 467 FLUOX	CaO 56 - 63	NA230	DEBUT DE PRISE 100 - 170	2j	> 12,5
NF P15 467 FLUOX	SiO2 19-27	NA230	FIN DE PRISE 180 - 270	7j	> 22
NF P15 467 FLUOX	Al2O3 4 - 6	NA232	EXPANSION A CHAUD 0,3 - 5	28j	> 42,5
NF P15 467 FLUOX	Fe2O3 2,5-3,5	NA231	AIR MASSIQUE 3200 - 3700	NA 234	RESISTANCES A LA FLEXION
NF P15 467 FLUOX	MgO 1 - 2	NA231	MASSE VOLUMIQUE 3,05 - 3,12 g/cm ³	2j	3 - 4
NF P15 467 FLUOX	K2O 0,3-0,6	INSTR	REFUS AU TAMIS 45µ 18 - 28	7j	5 - 7
NF P15 467 FLUOX	Na2O 0,1-0,16	NA440	RETRAIT SUR MORTIER µm/m ≤ 800	28j	0,2 - 0,3
NF P15 467 FLUOX	SO3 2 - 3	COMPOSITION POTENTIELLE EN %		% DES CONSTITUANTS (Hors gypse)	
GLYCOL	CaOL 0,5 - 2,5	C3S	50 - 65	CLINKER	75
NF P15 467 FLUOX	CL ⁻ 0 - 0,02	C2S	10 - 25	GYPSE	5
		C3A	9 - 12	LAITIER/TUF	20
		C4AF	7 - 11		

PRECAUTION D'EMPLOI

Ce type de ciment ne convient pas pour :

- Ouvrages en milieux agressifs (terrains gypseux, sulfates, eaux industriels)
- Travaux à la mer
- Bétonnage au dessous de 5° C

* LE PRODUIT DECRIT SUR CETTE FICHE CONFORME A LA NORME NA 442 VERSION 2000

* LES CARACTERISTIQUES DU PRODUIT CI-DESSUS INDIQUEES SONT MESUREES AU LABORATOIR DE LA SCHS

Annexe 1: Fiche technique du superplastifiant utilisé

Construction

Notice produit
Edition Août 2016
Numéro 1.23
Version n° 108.2016
SIKA® VISCOCRETE® 665

SIKA® VISCOCRETE® 665

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

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

Présentation	Le Sika Viscocrete 665 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique. Le Sika Viscocrete 665 est compatible avec tous les ciments même avec un taux C3A faible.
Domaines d'application	Le Sika Viscocrete 665 permet la fabrication : <ul style="list-style-type: none"> ■ de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés. ■ de bétons à longs maintiens de rhéologie (>2h30), sans reprise de fluidité dans le temps.
Caractères généraux	Le Sika Viscocrete 665 est un superplastifiant qui confère aux bétons les propriétés suivantes : <ul style="list-style-type: none"> ■ Longue rhéologie (>2h30) ■ Evolution rapide des résistances à court et à long terme ■ Réduction de la viscosité ■ Amélioration de la stabilité du béton frais et limitation de la ségrégation avec des granulats concassés ■ Pas de reprise de fluidité dans le temps ■ Qualité de parement
Agréments, essais de laboratoire	PV CNERIB : DTEM : 396/2016.
Caractéristiques	
Aspect	Liquide marron
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fût de 200 Kg ■ Conteneur perdu de 1000 Kg ■ Vrac
Stockage	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact



Données techniques

densité 1,085 ± 0,015

pH 5 ± 1,0

Teneur en Na₂O Eq. ≤ 1,0%

Extrait sec 33,0 ± 1,1% (méthode halogène selon NF 085)

Teneur en ions Cl⁻ ≤ 0,1%**Conditions d'application****Dosage** Plage de dosage : 0,4 à 2% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.**Mise en œuvre**

Le Sika Viscocrete 665 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

Précautions d'emploi

En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau. Consulter la fiche de données de sécurité accessible sur Internet.

Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel

Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.

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



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

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

