

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



Mémoire de Master

Présenté à l'Université de Mohammed Kheider-Biskra

Faculté d'Architecture, d'Urbanisme, de Génie civil et d'Hydraulique

Département de : Génie Civil & Hydraulique

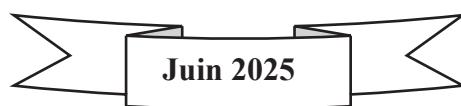
Spécialité : Génie Civil

Option : Matériaux en Génie civil

Présenté par : Ellek Boutheina

Thème : Caractérisation et influence des bétons préfabriqués légers sur le confort thermique des constructions.

Sous la direction de : Dr. Ben Ammar Ben Khadda





thanks

I would first like to express my deep gratitude to my thesis supervisor, **Dr. Ben Ammar Ben Khadda**, for his guidance, patience, and trust throughout this research project. His valuable advice, expertise, and unwavering support were invaluable and greatly contributed to the success of this project.

My thanks also go to all the professors in the Department of **Civil Engineering and Hydraulics** at **Mohamed Khider** University for their high-quality teaching and the knowledge they imparted to me during my years of study. Their passion and dedication to research inspired and motivated me to pursue my own scientific questions.





Dedication

To everyone who sweated their brows and taught me that success comes only through patience and perseverance.

To the light that illuminated my path and the lamp whose light in my heart never goes out... ever.

To those who gave their most precious things, from whom I derived my strength and self-esteem... To... my father.

To the one who made paradise beneath her feet and stayed up nights for her comfort and prayers.

To the great human being whose eyes I always wished to be comforted on a day like this... To... my mother.

To my steadfast rib and the safety of my days.

To those who strengthened my resolve and who were like Ababil drinking from her mother's experience and purity... To the delight of my eyes... My brothers and my sister.

I would also like to dedicate this graduation to my late cousin, who was waiting for this moment impatiently.

To everyone who has been a support and a help along this path... To... my friends Afaf, Yasmine, Wajdan, and Aisha.

I dedicate to you this achievement and the fruit of my success that I have always desired. Today, I have completed and perfected the first fruit by His grace, glory be to Him.

Praise be to God for what He has given me, and He will not make me blessed and was It only concerns me that I was one of those who said, "I am her, so guide her." And I am her. And if she refuses to be sad about it, I will prove that I am her. So praise be to God, in thanks, love, and gratitude for the light and completion. And our final supplication is that praise be to God, Lord of the Worlds.



Résumé :

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le secteur de la construction. Le sujet de notre étude est le béton préfabriqué à base de sable, léger (BL) et fabriqué de manière fiable à partir de bois, une matière première de faible densité.

L'incorporation de copeaux de bois dans le béton permet de créer un matériau composite aux nombreuses propriétés. Des études sur ce béton ont montré que la réduction de poids apportée par le sable contribue à améliorer l'isolation thermique et acoustique, mais réduit considérablement la résistance mécanique. Nous avons observé que plus la teneur en copeaux de bois dans le béton à base de sable est élevée, plus il devient léger.

Cinq formulations d'échantillons de béton à base de sable (BS) ont été testées en remplaçant le sable par certaines proportions de copeaux de bois.

Les essais sont réalisés pendant 7 jours afin d'obtenir une résistance élevée au lieu de l'obtenir en 14 jours et 28 jours, c'est-à-dire par rapport au béton ordinaire (BO).

Mots-clés : béton de sable préfabriqué ; copeaux de bois ; béton léger ; isolation thermique et acoustique.

Abstract:

Concrete is the most widely used material in the construction industry. The subject of our study is sand-based precast concrete, which is lightweight (LB) and reliably manufactured from wood, a low-density raw material.

Incorporating wood chips into concrete creates a composite material with numerous properties. Studies on this concrete have shown that the weight reduction provided by sand contributes to improved thermal and acoustic insulation, but significantly reduces mechanical strength. We observed that the higher the wood chip content in sand-based concrete, the lighter it becomes.

Five sand-based concrete (SB) sample formulations were tested by replacing the sand with certain proportions of wood chips. The tests are carried out over 7 days to achieve high strength, rather than the 14-day and 28-day tests required for ordinary concrete (OC).

Keywords: Precast sand concrete; wood chips, lightweight concrete; thermal and acoustic insulation.

الملخص

الخرسانة هي المادة الأكثر استخداماً في صناعة البناء. موضوع دراستنا هو الخرسانة الجاهزة خفيفة الوزن القائمة على الرمل والتي يتم تصنيعها بشكل موثوق من الخشب، وهي مادة خام منخفضة الكثافة.

يؤدي دمج رقائق الخشب في الخرسانة إلى إنشاء مادة مركبة ذات العديد من الخصائص. وقد أظهرت الدراسات التي أجريت على هذه الخرسانة أن تخفيض الوزن الذي توفره الرمل يساعد على تحسين العزل الحراري والصوتي، ولكنه يقلل بشكل كبير من المقاومة الميكانيكية. لقد لاحظنا أنه كلما زاد محتوى رقائق الخشب في الخرسانة ذات الأساس الرملي، أصبحت أخف وزناً.

تم اختبار خمس صيغ من عينات الخرسانة الرملية عن طريق استبدال الرمل بنسبي معينة من رقائق الخشب ويتم إجراء الاختبارات لمدة 7 أيام من أجل الحصول على قوة عالية بدلاً من الحصول عليها في 14 يوماً و28 يوماً، أي بالمقارنة بالخرسانة العادية.

الكلمات المفتاحية : الخرسانة الرملية الجاهزة ، رقائق الخشب، الخرسانة خفيفة الوزن، العزل الحراري والصوتي

Sommaire

Table des matières

Résumé :	2
Abstract:	2
الملخص	1
Sommaire	2
Introduction générale.....	1
Chapitre 1 : recherche bibliographique	1
Introduction :	2
I. Béton de sable :	2
I.1 Histoire de béton de sable :	2
I.2 Définition :	3
I.3. Les Caractéristiques du béton du sable :	3
I.4. Les constituants de béton de sable :	4
1. Sable :	4
2. Le ciment :	4
3. L'eau de gâchage :	4
4. Les fines d'ajouts, (filler) :	5
5. Les adjuvant :	5
6. Les gravillons :	5
I.5. Les propriétés des bétons de sable :	5
I.5.1 La compacité :	5
I.5.2 La maniabilité :	6
I.5.3 Granulométrie – Résistance :	6
I.5.4 Le comportement mécanique :	7
I.5.5 Retrait et fluage :	8
I.6. Domaines d'utilisation des bétons de sable :	9
II. Béton préfabrique :	10
II.1. Définition :	10
II.2. L'étuvage des bétons :	10
II.2.1 Introduction :	10
II.2.2 Les avantages :	11
II.2.3. L'application dans cette étude :	11
II.3 Les différentes techniques de chauffage de béton :	12
II.4 Mûrissement des bétons :	13
III. Béton léger :	15
III.1. Histoire de béton léger :	15

III.2. Définition :	16
III.3. Classification du légers :	17
III..4. Types des bétons légers :	18
III.4.1. Le béton caverneux :	18
III.4.1.1 Composition :	18
III.4.1.2 Fabrication :	18
III.4.1.3 Utilisation :	19
III.4.1.4 Avantages et les inconvénients :	19
III.4.2 Le béton cellulaire :	19
III.4.2.1 Utilisation :	19
III.4.2.2 Les avantages :	20
III.4.2.3 Les inconvénients :	20
III.4.3 Béton de granulats légers :	20
III.4.3.1 Utilisation :	20
III.5 Caractéristiques principales des bétons légers :	20
III.6 Propriétés des bétons léger :	21
III.7 Les avantages des bétons légers :	21
III.8 Les inconvénients des bétons légers :	21
III.9 Domain d'utilisation des bétons légers :	21
IV. Le bois :	22
IV. 1 L'eau dans le bois :	23
IV. 2. Diffusion de l'eau dans le bois :	23
IV. 3. CONDUCTIVITE THERMIQUE DU BOIS :	24
IV. 4. Durabilité du bois :	24
Conclusion :	25
Chapitre 2 : Caractéristiques des Matériaux	27
Introduction :	28
I. Matériaux utilisés :	28
I.1. Le sable :	28
I.2. Le ciment :	28
I.3. Eau de gâchage :	29
I.4. Les adjuvants : (EN 934-2)	30
I.4. 1. Définition :	30
I.4.2. Sika latex :	30
I.4.2.1 Définition :	30
I.4.2.2 Les Avantages :	30

I.4.2.3 Utilisation :	30
I.5. Sciure de bois :	31
I.5.1 Traitements de la sciure de bois :	32
I.6. Plastifiants :	32
I.6.1 Définition et rôle des plastifiants :	32
II. Essais effectués sur les granulats :	32
II.1 Analyse granulométrique par tamisage : (NF EN 933-2)	33
II.1.1. Matériel Nécessaire :	33
II.1.2 Module de finesse :	33
II.2. Essai d'équivalent de sable (EN 933-8) :	34
II.2.1 Généralités :	34
II.2.2 Principe :	34
III. Masses volumiques des granulats (Normes : NF P 18-554 et NF P 18-555 et NA 255) : ...	36
III.1 Masse volumique apparente :	36
III.1.1. Définition :	36
III.1.2. Mode opératoire :	36
III.1.3. Résultat :	36
III.2. Masse volumique absolue (masse spécifique) :	37
III.2.1. Définition :	37
III.2.2. Matériel nécessaire :	37
III.2.3. Mode opératoire : Méthode de l'éprouvette graduée	37
III.2.3. Résultat :	38
IV. Méthode de la mesure au pycnomètre :	38
IV.1 Équipement nécessaire :	38
IV.2. Conduite de la mesure :	39
V.1. Essai de consistance de pâte ciment (EN 196-3) :	39
V.1.2. Principe de l'essai :	39
V.1.3. Conduite de l'essai :	40
V.2. Essai de prise de la pâte de ciment EN 196-3	41
V.2.1. Principe de l'essai :	41
V.2.2. Conduite de l'essai :	42
VI. Coefficient d'Absorption des granulats : NF P 18-554 ET NF P 18-555	43
VI.1. Définition :	43
VI.2 Principe de la mesure :	43
VI.3. Mesure pour les sables (NFP 18-555) :	43
VII. Essais chimiques à l'acide sulfurique :	44

1. Formulation :	45
2. Préfabrication des bétons :	45
3. Traitement du béton de sable par étuvage et variance de cure (nombre de jour dans l'enceinte avec nombre de jours à l'air libre) :	45
Formulation de 06 type de béton de sable léger :	45
VIII. Essais sur le béton frais :	46
VIII.1. Maniabilité (essais d'étalement) : (NF P 18-452 et P 15-437)	46
Objectif de l'essai :	46
IX. Essais sur le béton durci :	47
IX.1. La masse volumique sèche des éprouvettes : NBN EN 1015-10	47
IX.1.1 Principe :	47
IX.1.2 Echantillon :	47
IX.1.3 Quelques particularités :	47
IX.2. Le Vitesse Propagation des ondes par ultrason (EN 12504-4): Auscultation sonique	48
IX.2.1 Définitions :	48
IX.2.2 Objectif :	48
IX.2.3 Principe de l'essai :	49
IX.2.3. Résultat :	49
IX.3. Essai de résistance à la compression et traction des éprouvettes NF EN 196-1 :	50
IX.3.1. Domaine d'application :	50
IX.3.2. Principe de l'essai :	50
IX.3.3. Conduite de l'essai :	50
IX.4. Détermination de la résistance à la flexion des éprouvettes NA 428 : 1989	51
IX.4.1. Objet et domaine d'application :	51
IX.4.2. Principe de l'essai :	52
IX.4.3. Eprouvettes :	52
IX.6. Retrait et gonflement : (NF P 15-433)	52
IX.6.1. Objectif de l'essai :	52
IX.6.1Principe de l'essai :	52
IX.6.2. Conduite de l'essai.	53
XI.7. Absorption par immersion total :	54
Conclusion :	55
Chapitre 3 : Résultat et discussion	56
INTRODUCTION :	57
I. Résultat d'essai de matériaux utilisé :	57
I.1. Sable :	57

I.1. 1 Analyse granulométrique de sable :	57
I.1.2 Propriétés physiques du sable :	58
I.2 Ciment :	58
I.2.1 Propriétés physiques du ciment:	58
I.3.1 propriétés de sciure de bois :	59
II. Les résultats:	59
III. Caractérisation du béton frais :	61
III.1. Essais de maniabilité :	61
IV.2. Résultats des essais sur l'état durci :	62
IV.2.1 La masse volumique :	62
IV.2. Détermination de la vitesse de propagation du son (ultrason) :	62
III.2.3 Absorption par immersion totale :	63
III.2.4 Pert de masse :	64
IV. 3 Essais de résistance :	66
III.4 Retrait :	67
Conclusion :	68
Conclusion générale :	69
Référence	70
Les Normes :	73
Annexe	75

Liste des tableaux :

Chapitre 1 : Recherche bibliographique	
Tableau I.1: Classification des béton légers en fonction de la densité	17
Tableau I.2: Classification des béton légers en fonction de la masse volumique	17
Tableau I.3: Caractéristiques de béton léger caverneux	18
Chapitre 2 : Caractéristique des Matériaux	
Tableau II.1: Composition chimique élémentaire du ciment	29
Tableau II.2: Composition minéralogique de clinker	29
Tableau II.3: Résume les renseignements sur la qualité du sable en fonction de la valeur de L'ES	35
Tableau II.4: Durcissement du béton léger (combinaison d'étuvage en boit et à l'aire libre)	45
Tableau II.5: Les formulations des bétons	46
Tableau II.6: Qualité du béton à partir de la vitesse de son	49
Chapitre 3 : Résultats et discussion	
Tableau III.1: Analyse granulométrique	57
Tableau III.2: Les propriétés physiques de sable	58
Tableau III.3: Les propriétés physiques de ciment	58
Tableau III.4: Les propriétés physiques de sciure de bois	59
Tableau III.5: Essais ultrason des éprouvette	62

Liste des figures :

Chapitre 1 : Recherche bibliographique	
Figure I.1: Maniabilité en fonction du module de finesse du sable Influence de la teneur en fines	6
Figure I.2: Effets du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance	7
Figure I.3: Retrait d'auto-dessiccation	8
Figure I.4: Retrait total	8
Figure I.5: Enceinte climatique d'étuvage du béton	12
Figure I.6: Cycle type de la cure à la vapeur atmosphérique	13
Figure I.7: Résistance d'un béton traité à la vapeur à différentes températures (E/C = 0.55)	15
Figure I.8: : Représentation schématique des différents types de béton léger	18
Figure I.9: valeurs de la conductivité thermique de quelques essences de bois	24

Chapitre 2 : Caractéristique des Matériaux	
Figure II.1: Ciment CPA-CEMI /42.5	29
Figure II.2: Sika latex	31
Figure II.3: Sciure de bois	31
Figure II.4: Le plastifiant BV-40 (réducteur d'eau)	32
Figure II.5: Les tamis pour l'analyse granulométrique	34
Figure II.6: essai de équivalant de Sable	35
Figure II.7: La masse volumique apparent de (sable 0/4 et ciment st sciure de bois)	37
Figure II.8: la masse volumique absolue du (sciure de bois et sable 0/4)	38
Figure II.9: essais de la masse volumique absolue (méthode de pycnomètre)	39
Figure II.10: Appareil de Vice de sa sonde pâte de consistance	41
Figure II.11: Malaxeur normalisé pour pâte de mortier normal	41
Figure II.12: début de prise et fin de prise	42
Figure II.13: absorption des granulat	44
Figure II.14: Essai d'attaque à l'acide sulfurique	44
Figure II.15: essais de maniabilité	47
Figure II.16: valeurs d'étalement	47
Figure II.17: la masse volumique sèche d'éprouvette	48
Figure II.18: Essai d'ultrason des éprouvettes	49
Figure II.19: les moules d'éprouvette 4×4×16 cm	50
Figure II.20: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion et dispositif de rupture compression	51
Figure II.21: La machine de compression.	51
Figure II.22: Les éprouvette 4×4×16 cm	52
Figure II.23: La machine de flexion par traction	52
Figure II.24: Appareillage pour la mesure du retrait	53
Figure II.25: Essais de retrait	54
Figure II.26: absorption par immersion d'éprouvette 4×4×16 cm	55
Chapitre 3 : Résultats et discussion	
Figure III.1: Analyse granulométrique	58
Figure III.2: La masse volumique apparent des matériaux utilisé	59
Figure III.3 : La masse volumique absolue des matériaux utilisé	60
Figure III.4: Essais de coefficient d'absorption des matériaux utilisé	60
Figure III.5: Résultats d'essai d'étalement (maniabilité)	61
Figure III.6: Résultats d'essais du la masse volumique total	62
Figure III.7: Résultats d'essais ultrason des éprouvette	63

Figure III.8: Résultats d'absorption d'eau par immersion	64
Figure III.9: Perte de masse des éprouvettes après milieu agressif	65
Figure III.10: Résultats d'essais de la résistance à la compression	66
Figure III.11: Résultats d'essais de la résistance à la traction par flexion	66
Figure III.12: Evolution de retrait du BSSC% et témoin en fonction de l'âge	67

Introduction générale

Dans un contexte de conditions climatiques difficile, l'élaboration de nouveaux matériaux en béton pour les composants de l'enveloppe du bâtiment, notamment les murs extérieurs et les toits, s'est imposée comme un besoin pressant.

L'objectif principal de cette méthode est d'améliorer considérablement la capacité thermique de ces structures, leur donnant la possibilité de dépasser les matériaux de construction conventionnels. De même, l'énorme volume de déchets de bois produit constitue un enjeu environnemental et économique considérable, aggravé par la croissance rapide des activités industrielles à l'échelle mondiale. Chaque jour, d'énormes quantités de ces résidus, y compris les briquettes de bois utilisées dans le domaine de la construction et les palettes en bois du secteur maritime, sont reléguées dans des décharges.[1]

L'incorporation de ces ressources secondaires dans l'élaboration de matériaux de construction révolutionnaires constitue une stratégie encourageante pour minimiser l'impact écologique tout en favorisant le développement de solutions de construction plus performantes et durables.[1]

Ainsi, la valorisation des déchets industriels par leur conversion en matériaux isolants pour la construction. Le concept d'une diminution de la densité, conduisant à une amélioration des performances thermiques de ces matériaux et acoustique, peut donc se révéler intéressant. Ce travail vise à examiner l'impact du facteur d'allégement sur les propriétés physico-mécaniques des bétons de sable léger, ainsi que la pertinence d'une telle démarche pour améliorer les performances thermiques et acoustique des matériaux produits.

Le béton de sable léger constitue une classe novatrice de matériaux de construction, qui se différencie du béton traditionnel par l'emploi d'agrégats légers et une granulométrie spécifique dominée par le sable. Cette caractéristique lui donne des attributs uniques, le rendant particulièrement attrayant pour une variété d'utilisations dans les secteurs du génie civil et de la construction.

Traditionnellement, le béton est composé de ciment, d'eau, de sable et de granulats (gravier, cailloux). En revanche, le béton léger à base de sable remplace totalement ou partiellement les granulats lourds par des matériaux de moindre poids.

Cette recherche sera exposée en trois volets : recherche bibliographique ; les caractérisations et les matériaux utilisés ; interprétation des résultats.

Le premier chapitre est une étude bibliographique ou une recherche sur le béton de sable préfabriqué et le béton léger ainsi que sur l'effet de la sciure sur le comportement physique et mécanique.

Le deuxième chapitre parle des propriétés des matériaux et du remplacement de la sciure par du sable.

Dans le dernier chapitre, nous discutons des résultats avec interprétation et analyse.

Nous concluons ce travail par une conclusion générale dans laquelle nous rappelons les principaux résultats obtenus.

Chapitre 1 : recherche bibliographique

Introduction :

Le béton est composé de matériaux généralement d'origine minérale. Il met en présence plusieurs matériaux afin de les agglomérer entre eux. Des matières inertes comme les "granulats" (gravier et sable), généralement issus de roches calcaires ou siliceuses, avec du ciment ou de l'argile, appelés "liants" mélangé à l'eau ou du bitume, ainsi que des produits chimiques dits "adjuvants" pour modifier les propriétés physiques et chimiques du composite. Mélangés avec de l'eau, ces matériaux forment une pâte dont l'homogénéité varie d'un mélange à un autre selon leur utilisation. On peut avoir un béton moulé en atelier pour les constructions préfabriquées ou coulé sur chantier pour les constructions dites en béton banché.

Le rapport indique le nombre de litres d'eau de gâchage par kilogrammes de ciment (E/C). Il a une grande importance pratique. Il permet en premier lieu de se faire une idée sur l'état de la pâte de ciment correspondant à chaque mélange de béton ou de mortier. Plus la valeur numérique de ce rapport est petite, plus la pâte du ciment est concentrée et plus sa force de liaison est élevée. Au contraire, plus elle est grande, plus la pâte de ciment est diluée et fluide. C'est l'un des paramètres majeurs conditionnant la porosité et la résistance de la matrice cimentaire du béton durci. Plus la valeur de E/C est petite, plus les résistances en compression des bétons sont élevées et plus leur porosité diminue [2], [3].

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus utilisés à l'échelle mondiale. Sa polyvalence a donné naissance à plusieurs formes spécialisées adaptées à des usages spécifiques. Le béton léger, le béton sableux et le béton préfabriqué, entre autres, se distinguent par leurs caractéristiques et leurs avantages. La section suivante présente un résumé de ces matériaux, de leurs caractéristiques, de leurs domaines d'application et de leurs avantages.

I. Béton de sable :

I.1 Histoire de béton de sable :

Il est probable que le phare de Port Saïd, édifié par François Coignet à l'embouchure du canal de Suez, soit le premier grand projet à avoir utilisé le béton de sable. Coignet employait du sable marin et même si le phare en lui-même n'est plus fonctionnel, la structure demeure toujours intacte. Post Seconde Guerre mondiale, l'URSS, qui disposait de sable en abondance mais manquait de granulats et était confrontée à un vaste programme de reconstruction, a massivement utilisé le béton sablonneux pour édifier des routes, des aérodromes et des bâtiments. Dans un numéro du Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (Le béton de sable en Union Soviétique, 1991, n° 174, pp. 61-69), Jean-Jacques Chauvin fait le

bilan de l'utilisation du béton de sable en Union Soviétique. Dans son introduction, il cite l'œuvre de Nicolas de Rochefort publiée en russe en 1918 : « si l'on écrase conjointement le clinker et le sable dans une proportion d'un pour un, on obtient un produit qui, lorsqu'il est mélangé au sable naturel dans une proportion d'un pour trois (ce qui équivaut à un total de six parts de sable pour une part de clinker), atteint les mêmes résistances qu'une combinaison d'un tiers de clinker broyé seul et de sable. Autrement dit, cela double les performances du ciment ! » Quelques lignes plus loin, on trouve l'explication : « Le principe physique du phénomène semble être qu'au cours du concassage, des surfaces physico-chimiquement actives sont libérées tant qu'elles restent fraîches et sur lesquelles le liant s'établit ».

Le projet MATERLOC a été lancé en 1988 en France dans le but de réduire l'extraction des ressources naturelles provenant des lits de rivières. Son objectif était d'optimiser l'utilisation des matériaux locaux, en particulier du sable produit par le concassage des pierres calcaires. Une section de ce projet porte le nom de SABLOCRETE, dont les défis et les conseils ont été dévoilés en 1994 aux Presses de l'ENPC : Bétons de sable, caractéristiques et pratiques d'utilisation.[4]

I.2 Définition :

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le génie civil et la construction à travers le monde. Le mélange est composé de sable, d'eau et de chaux. Ses origines se trouvent dans le béton aggloméré, composé de ciment, de chaux, de sable et d'eau.

La norme Française A.F.N.O.R.NF P18 500 (juin 1995) [5] définit le béton de sable comme suit : « Le béton de sable est un béton fin constitué par un liant hydraulique, un (ou plusieurs) sable(s), des fines et de l'eau ; on utilise habituellement un (ou plusieurs) adjuvant(s) et on peut, éventuellement, admettre une quantité de gravillons. Les ajouts (fibres, colorants, ...) utilisés dans le béton traditionnel peuvent également être incorporés au mélange.

L'incorporation de gravillons d/D autorise l'appellation « béton de sable » tant que le rapport massique G/S reste inférieur à 0,7(G = gravillon ; S= sable) : « on parle alors de béton de sable chargé ».

I.3. Les Caractéristiques du béton du sable :

- Il se distingue des mortiers par son dosage en liant moindre, sa résistance plus élevée et sa destination (essentiellement destiné aux usages traditionnels du béton).

- Il se distingue d'un béton ordinaire par son dosage en sable(s) élevé, par l'absence ou le faible dosage en gros granulats (une rigidifiassions par des gravillons tels que le rapport G/S soit inférieur à l'unité pour être nécessaire), et l'incorporation d'ajout(s) .
- Il ressemble au béton ordinaire par son dosage en liant et sa résistance similaire et parce qu'il peut être utilisé pour la réalisation des éléments de résistance pour bâtiments et chaussées.

I.4. Les constituants de béton de sable :**1. Sable :**

Les sables sont tous de granulats de grosseur 0/D, D = 5mm, qui influe selon ses qualités : il participe à la résistance, il donne la cohésion de mélange, il doit être dense provenant de roches chimiquement inertes telle que : les calcaires durs, les granite et les quartzites.

Suivant leurs grossesurs les sables sont classés en [5] :

- Sable fine de 0.03 à 0.315 *mm*.
- Sable moyen de 0.315 à 2 *mm*.
- Sable gros de 2 à 5 *mm*

Ils peuvent aussi être distingués selon leur origine :

- Sables naturels roulés : (sable de rivière, sable de mer, sable de dune, sable de carrière)
- Sables artificiels : on peut les obtenir par :
- Broyage de certains déchets
- Transformation industrielle de l'argile
- Trempe à l'eau et à l'air du laitier de haut fourneau

2. Le ciment :

Les ciments Portland sont des liants hydrauliques composés principalement de silicates de calcium hydrauliques qui font prise et durcissent en vertu d'une réaction chimique à l'eau appelée hydratation. Lorsqu'on ajoute la pâte (ciment, air et eau) aux granulats (sable et gravier, pierre concassée ou autre matériau granulaire), elle agit comme une colle et lie ensemble les granulats pour former une masse semblable à de la pierre, le béton, le matériau artificiel le plus polyvalent et le plus répandu qui existe [5].

3. L'eau de gâchage :

Eau incorporée au mélange liant et granulats afin d'enclencher sa prise et de conférer au béton sa plasticité, donc son ouvrabilité. La qualité de l'eau de gâchage doit répondre à la norme NF EN 1008.[7]

4. Les fines d'ajouts, (filler) :

Le filler (de l'anglais to fille qui signifie remplir), également appelé fines ou fines d'addition, est un granulat fin, de 0 à 125 μm environ et destiné à remplir, à charger divers produits des industries du BTP.[6]

Des fillers de dimensions majoritairement inférieures à 80 μm sont utilisés pour remplir les vides entre les grains de sable afin de réduire la quantité de ciment.[5]

5. Les adjuvant :

Un adjuvant est un produit dont l'incorporation à faible dose (inférieure à 5 % de la masse du ciment) aux bétons, mortiers ou coulis, lors du malaxage ou avant la mise en œuvre, provoque les modifications des propriétés du mélange, à l'état frais ou durci. Les adjuvants font l'objet de la norme NF EN 934, partie 2 : Adjuvants pour béton, mortier et coulis. Définition – exigences – conformité – marquage et étiquetage.[8]

6. Les gravillons :

Le gravillon est l'élément constitutif d'une roche détritique dont le diamètre est compris, suivant les classifications, de 2 à 10 (20) mm. Les gravillons sont de petits graviers, distingués par leur granulométrie inférieure. Les gravillons sont produits par le concassage d'une roche puis triés en fonction de leurs tailles.[9]

I.5. Les propriétés des bétons de sable :**I.5.1 La compacité :**

Le volume la densité est un des éléments principaux qui marque les caractéristiques de ce béton. Elon de la compacité est la minimalisation des volumes d'eau qui doivent être introduits dans le mélange sec et au plus haut des volumes en valeurs additionnelles.

✓ Effet de la granulométrie du sable sur la compacité :

Divers expérimentaux ont montré que le sable alluvionnaire ($D_{\text{max}} \cong 5\text{mm}$) était moins bon sans un récept de particules fines par rapport au sable de dune ($D_{\text{max}} < 1\text{mm}$). Il s'explique par le fait que la porosité cède un emplacement à la taille des grains du sable déterminée par sa fois-nature. Mais la meilleure proportion du sable que donne un sable dalmatien (quand il'est le cas au sable DUNAIRE), tout ce sable de base nécessite les fines parties. Cette instabilité est moins terrible que ce n'est le cas pour le ciment de sable.

✓ Effet de l'addition des fines :

Selon la granulométrie, la proportion de fines et la teneur en ciment, une quantité optimale a été identifiée au-delà de laquelle la densité commence à baisser

I.5.2 La maniabilité :

Une des particularités des bétons de sable est de nécessiter davantage d'eau que les bétons classiques ceci se traduit par des valeurs du rapport E/C (eau/ciment) systématiquement supérieures à 0,5, ce rapport se situant généralement entre 0,6 et 0,7. Cette particularité est due à une surface spécifique plus importante du mélange d'ailleurs, si l'on considère non plus le rapport E/C, mais le rapport E/C + A (A = Addition en fines), on obtient des valeurs similaires aux bétons traditionnels. La granulométrie du sable jouera également sur le besoin en eau plus le sable est riche en éléments grossiers, plus la maniabilité s'améliore. Ceci se traduit par une relation entre module de finesse* et maniabilité [10]

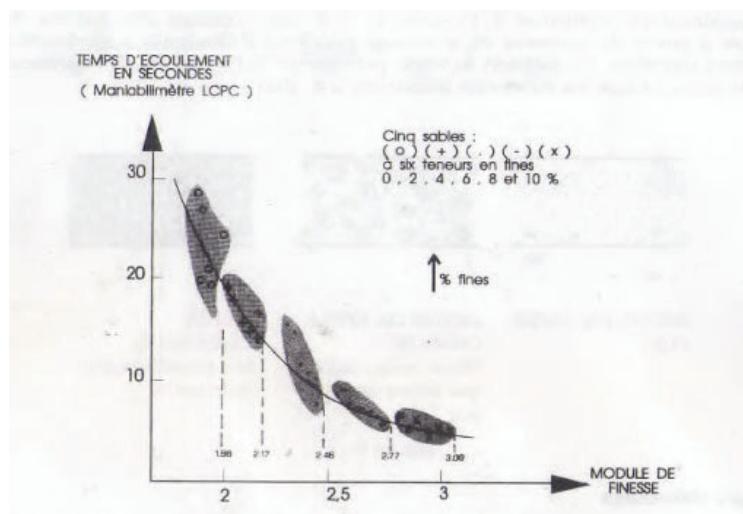


Figure II.1 : Maniabilité en fonction du module de finesse du sable Influence de la teneur en fines.[10]

(Réf. A. LOOTVOET," Angularité et maniabilité des sables à béton in Symposium international sur les granulats, Nice, mai 1984).

✓ La Nature et le dosage en fine :

L'agilité est accrue lorsque le ratio E/C est élevé ; et pour un ratio E/C constant, l'agilité est influencée par la proportion de particules fines.

I.5.3 Granulométrie – Résistance :

A dosage en ciment constant, la résistance peut être différente en fonction d'un certain nombre de paramètres et en particulier : La finesse de l'addition *Plus l'addition est fine (et bien de

floculée) plus elle est efficace au niveau du gain en compacité (et donc du gain en résistance).[10]

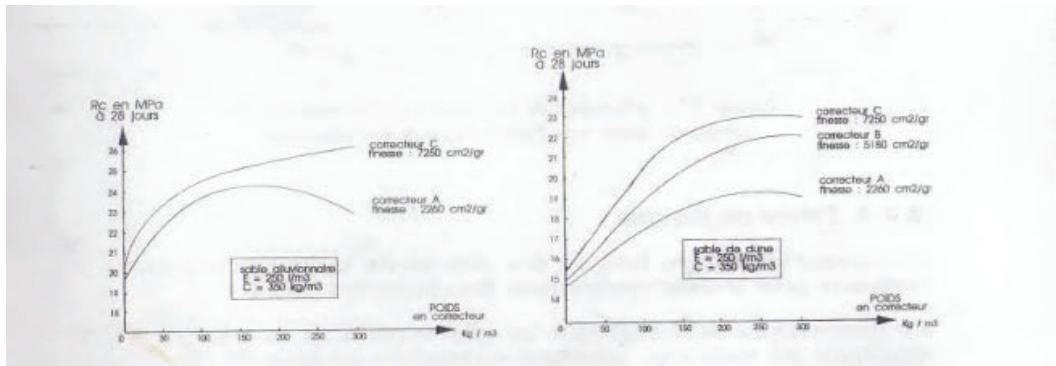


Figure I.2: Effets du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance. [10]

I.5.4 Le comportement mécanique :

Les performances mécaniques restent parmi les critères les plus utilisée pour le jugement de la qualité des bétons et pour leurs classifications. Généralement, les résistances mécaniques des bétons de sable sont inférieures à celles des bétons classiques. Cependant, cela n'empêche aucun cas d'obtenir des bétons de sable à haute performance mécanique, c'est dans ce sens que plusieurs comparaisons ont été faites dans l'objectif de voir dans quelles mesures les bétons de sable pourraient remplacer les bétons classiques.

La résistance est aussi dépendante d'un certain nombre de paramètres, en plus de la qualité et du dosage en ciment et du rapport E/C. On cite en particulier :

- La finesse de l'addition
- Nature de l'addition
- La dimension maximale
 - La finesse de l'addition : plus l'addition est fine, plus elle est efficace au niveau du gain de compacté et donc du gain en résistance. [11]
 - Nature de l'addition : pour le même dosage en fin d'addition et pour le même rapport E/C on constate que la résistance mécanique est très variable, ce qui explique que la nature des fines d'ajout influe aussi sur la résistance.
 - La dimension maximale : pour une même valeur du rapport E/C on constate que l'effet du diamètre d_{max} du plus gros granulat est peu important en tout état de cause, le béton très maniable dans le cas d'un granulat 0/20. [12]

I.5.5 Retrait et fluage :

Des essais de retrait et de fluage ont été réalisés sur béton de sable en comparaison avec un béton classique.

Pour ce qui est du retrait, ils ont permis de constater que, lorsqu'on isolait le matériau de l'extérieur (milieu étanche), le retrait, dit d'auto dessiccation, du béton de sable était voisin de celui du béton traditionnel. Si on laisse le béton sécher (milieu non étanche) le retrait du béton de sable peut atteindre des valeurs doubles de celui d'un béton classique. Le phénomène a été expliqué et est lié, vraisemblablement, à une distribution et une taille des vides différentes entre les deux matériaux.[10]

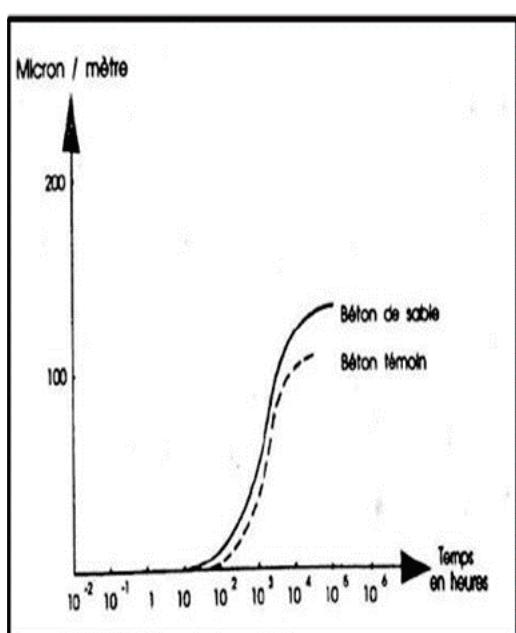


Figure I.3: Retrait d'auto-dessiccation [10]

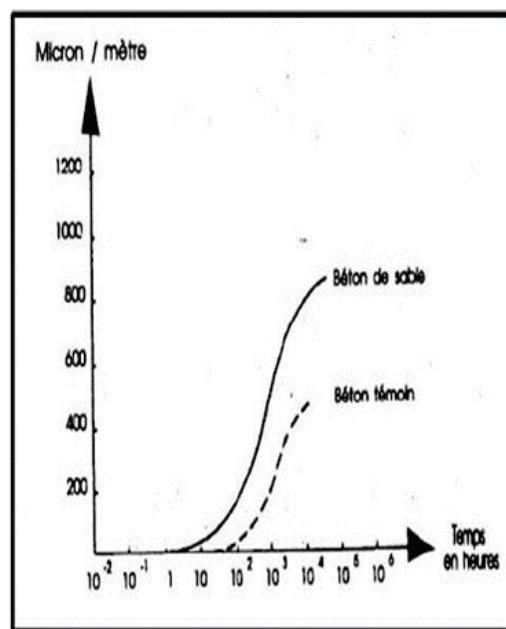


Figure I.4: Retrait total [10]

I.5.6 Durabilité :

Conventionnellement, la durabilité d'un béton est reliée à ses capacités d'échange avec le milieu extérieur. De ce fait, il est évident que les paramètres tels que porosité, organisation géométrique des pores et perméabilité sont des paramètres physiques de premier ordre de la durabilité. De même, les phénomènes internes tels que l'alcali réaction ou l'attaque sulfatique différée sont aussi des processus d'altération du béton accélérés par les échanges hydrauliques avec le milieu extérieur.

La tenue d'un béton vis-à-vis des phénomènes d'échange dépend aussi de l'environnement de celui-ci, raison pour laquelle l'estimation de la durabilité s'effectue généralement par un ou plusieurs essais suivants, selon l'environnement prévisible du matériau (milieu urbain, région montagneuse, milieu marin, ambiances agressives...) :

- perméabilité à l'air et à l'eau ;
- gel-dégel ;
- carbonatation ;
- pénétration des ions chlorure.[10]

Ces essais de durabilité, dont le but est de qualifier le béton vis-à-vis des attaques physico-chimiques exogènes ou internes, sont généralement des essais accélérés qui permettent d'obtenir rapidement des informations comparatives.

D'une façon générale, les bétons de sable sont plus poreux que les bétons traditionnels : s'ils ont davantage de vides, la taille et le nombre de ces vides se distinguent de ceux du béton traditionnel ; ils sont plus nombreux, plus petits et davantage monodimensionnels. Leur nombre plus élevé entraîne une probabilité de colmatage plus fréquente et plus aisée compte tenu de leur faible taille.

La perméabilité à l'eau est du même ordre de grandeur que celle du béton traditionnel ; quant à la perméabilité à l'air, elle conduit à des résultats globalement inférieurs ou comparables à ces mêmes bétons classiques. Toutefois, ces résultats ne sont pas généralisés à toutes les formulations de bétons de sable mais plutôt à des bétons de sable correctement formulés, c'est-à-dire pour lesquels il y a eu optimisation des dosages en fines d'addition et en ciment. Dans ces conditions le comportement en carbonatation aussi bien naturelle qu'accélérée, et en gel-dégel, est satisfaisant voire excellent.

I.6. Domaines d'utilisation des bétons de sable :

- Fondations profondes
- Bâtiment
- La préfabrication
- Toiture à plis
- Routes, chaussé et dallage
- Travaux pour terrasses

II. Béton préfabrique :**II.1. Définition :**

La préfabrication, une méthode de construction née après la Seconde Guerre mondiale, a émergé à cette époque en réponse à une pénurie de logements et à une abondance d'innovations industrielles.

Actuellement, c'est une alternative offerte aux architectes dans le processus de conception de leurs projets ainsi qu'aux entreprises pour améliorer l'efficacité de leurs chantiers.

La préfabrication, surtout celle qui concerne le béton, a diversifié son éventail de produits, systèmes et « modules » clés en main ou standardisés.

II.2. L'étuvage des bétons :**II.2.1 Introduction :**

Le traitement thermique des bétons et mortiers constitue une étape essentielle pour assurer le développement de leurs propriétés mécaniques et physiques, notamment lors des premières phases de durcissement. Dans ce contexte, le recours à l'étuvage représente une méthode efficace pour accélérer les réactions d'hydratation et améliorer la résistance mécanique précoce du béton. Toutefois, l'utilisation des sources d'énergie conventionnelles, telles que l'électricité ou les combustibles fossiles, dans ce processus s'avère coûteuse et contribue de manière significative à l'empreinte carbone du secteur de la construction, reconnu comme l'un des plus polluants à l'échelle mondiale.

Face à cet enjeu environnemental croissant, l'intégration des énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire, dans les procédés industriels apparaît comme une alternative prometteuse. L'énergie solaire, ressource propre et abondante, offre en effet un potentiel considérable pour fournir la chaleur nécessaire à la cure du béton sans compromettre la qualité du produit final. Cette étude s'inscrit dans cette optique, en explorant la faisabilité et l'efficacité d'un traitement naturel par étuvage utilisant l'énergie solaire, en tant que solution écologique et économique, adaptée particulièrement aux régions à fort ensoleillement et à faibles ressources.

Plusieurs travaux antérieurs ont mis en évidence l'importance du contrôle des conditions de cure précoce pour éviter les fissurations superficielles, limiter le retrait et garantir la durabilité du béton à long terme. Parmi ces études, [13], qui a analysé l'impact du traitement thermique sur le développement de la résistance du béton [14], proposant des modèles thermiques prédictifs pour évaluer le comportement du béton soumis à la cure thermique. D'autres

publications techniques, telles que celles de [15], ont présenté des approches novatrices pour intégrer les énergies alternatives dans la fabrication des matériaux de construction.

II.2.2 Les avantages :

L'énergie solaire représente une alternative énergétique durable et écologique face aux sources d'énergie classiques telles que les combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel). Contrairement à ces dernières, qui sont limitées, polluantes et soumises à de fortes fluctuations économiques, l'énergie solaire est inépuisable, propre et gratuite après l'installation initiale [16]. Elle ne génère ni gaz à effet de serre, ni résidus nocifs, ce qui contribue à la lutte contre le changement climatique et à la réduction de l'empreinte carbone [16]. De plus, l'énergie solaire favorise l'autonomie énergétique, notamment dans les zones isolées ou mal desservies par les réseaux électriques conventionnels [17]. Sur le plan économique, bien que les coûts initiaux d'investissement soient encore relativement élevés, les progrès technologiques et les incitations publiques rendent cette option de plus en plus rentable à long terme. Enfin, l'exploitation de l'énergie solaire crée des opportunités d'innovation et d'emploi dans les secteurs de la transition énergétique, ce qui en fait un levier stratégique pour un développement durable [18].

II.2.3. L'application dans cette étude :

L'application étudiée dans ce travail consiste à exploiter l'énergie solaire pour assurer le traitement thermique (étuvage) du béton et du mortier. Cette approche vise à remplacer les méthodes traditionnelles de cure, gourmandes en énergie fossile, par une méthode plus écologique, reposant sur une source d'énergie renouvelable, abondante et gratuite. Selon plusieurs travaux de recherche [19], le durcissement solaire du béton suit généralement trois étapes essentielles :

1. Évaporation contrôlée de l'humidité : Cette phase vise à maîtriser l'évaporation de l'eau de gâchage sans provoquer de fissurations précoces. Elle repose sur le confinement du mélange dans un contenant fermé ou semi-ouvert, sous exposition solaire.
2. Conception et isolation thermique du coffrage : Une boîte ou un caisson est fabriqué pour recueillir le béton ou le mortier. Ce dispositif doit permettre la concentration de la chaleur tout en assurant un isolement suffisant pour retenir l'énergie thermique [20]
3. Phase d'essai de durcissement : Une fois le béton exposé à la chaleur solaire, des mesures sont prises à intervalles réguliers pour évaluer l'évolution des résistances mécaniques [21]. Cette méthode, déjà testée dans certaines études expérimentales, a montré son efficacité dans

les régions à fort ensoleillement, avec une réduction du temps de prise et une amélioration significative des résistances initiales [22].



Figure I .5 : Enceinte climatique d'étuvage du béton

Utilisé depuis longtemps en usine comme sur les chantiers, le traitement thermique du béton est une technique clé pour accélérer la fabrication. Il est particulièrement avantageux pour les éléments préfabriqués, car il accélère significativement la prise et le durcissement. Grâce à cette méthode, les pièces peuvent être démoulées et manipulées plus rapidement, et il devient même possible de couler du béton par temps froid sans craindre le gel.

II.3 Les différentes techniques de chauffage de béton :

Le chauffage du béton est une technique essentielle lorsqu'on cherche à accélérer la prise et le durcissement du béton, notamment dans les environnements froids ou lors des processus de préfabrication. Plusieurs méthodes sont utilisées pour apporter de la chaleur au béton à différents stades :

1. Avant la mise en place (préchauffage des composants)
 - Chauffage de l'eau de gâchage et/ou des granulats jusqu'à 60 °C.23
 - Injection de vapeur dans les mélangeurs (malaxeurs).
 - Préchauffage du moule ou du coffrage à l'aide de systèmes électriques.
2. Pendant la cure (chauffage après le coulage)
 - Chauffage interne : utilisation de moules isolés, de câbles chauffants, ou de courant électrique passant à travers les armatures. [24]
 - Chauffage externe : recouvrement avec des bâches chauffantes, application de chaleur par infrarouge, ou placement dans des enceintes thermiques.

3. Après le démoulage (maturisation accélérée)

- Étuvage dans des chambres climatiques ou des fours à vapeur. [25]
- Immersion dans des bains chauds ou enveloppement avec couvertures thermiques. Ces techniques visent à maintenir une température de cure optimale (généralement entre 40 °C et 80 °C) et à réduire le temps nécessaire pour atteindre la résistance minimale à la compression. Il est recommandé de contrôler le taux de montée et de descente de température pour éviter les fissures dues aux chocs thermiques [25].

II.4 Mûrissement des bétons :

Le mûrissement (ou cure) du béton et du mortier est une étape cruciale qui consiste à maintenir des conditions favorables de température et d'humidité afin de permettre l'hydratation complète du ciment. Ce processus influence directement les propriétés mécaniques, la durabilité et la stabilité dimensionnelle du matériau.

Il existe plusieurs méthodes de mûrissement selon les conditions climatiques et les exigences de l'ouvrage : le mûrissement à l'air humide, le mûrissement sous eau, le mûrissement à la vapeur d'eau (étuvage), ou encore le mûrissement naturel assisté par l'énergie solaire.

II.4 . 1 Objectifs du mûrissement :

- Favoriser l'hydratation du ciment.
- Limiter le retrait plastique et éviter la fissuration précoce.
- Développer la résistance mécanique souhaitée dans un délai optimal.
- Assurer la durabilité face aux agressions chimiques ou climatiques.

II.4 Mûrissement solaire :

Selon plusieurs travaux [26], le recours à l'énergie solaire comme source de chaleur dans le cadre du mûrissement constitue une alternative écologique prometteuse. Ce procédé, lorsqu'il est bien maîtrisé, permet d'atteindre rapidement la résistance initiale requise tout en réduisant la consommation énergétique et les émissions de gaz à effet de serre.

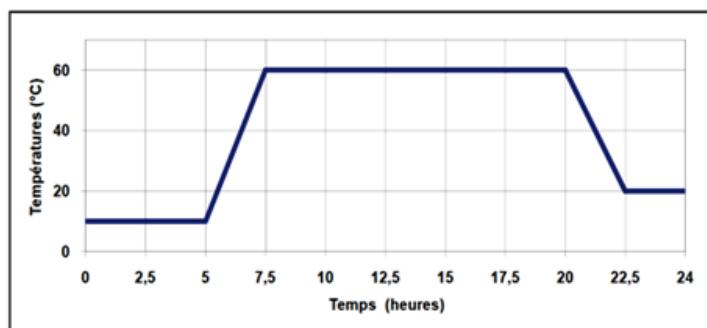


Figure I.6: Cycle type de la cure à la vapeur atmosphérique [27]

1 : Préprise 3 à 5 heures (température de béton 21°C) ;

2 : Montée de température 2 ½ heures (10 à 20°C /h) ;

3 : Palier 6 à 12 heures (60°C).

Le durcissement du béton à des températures autour de 60°C réduit le risque de retrait, de dessèchement et de fluage par rapport au béton durci à 23°C pendant 28 jours.

Il faut éviter les réchauffements et refroidissements trop rapides pour prévenir les changements de volume dommageables. La norme CSA A23.4 exige que le taux de chauffage maximal à l'intérieur de l'enceinte de mûrissement des bétons de la « catégorie humide » et de la « catégorie sèche » ne doive pas dépasser 20°C/heure. De la même manière, le taux de refroidissement maximal pour les deux catégories d'humidité est de 15°C/heure. Il doit être maintenu jusqu'à ce que la température du béton ne soit pas plus élevée que 20 °C au-dessus de la température ambiante à l'extérieur de l'enceinte. La température maximale du béton permise par la norme CSA A23.4 est de 70°C pour la « catégorie sèche » et de 60°C pour la « catégorie humide ».

La « catégorie sèche » s'applique aux éléments de béton qui, après mûrissement ne seront pas soumis à un environnement humide en service.

Il est recommandé que la température du béton ne dépasse pas 70°C, qui est la limite maximale admissible pour la « classe sèche », afin d'éviter une expansion retardée due à la chaleur et une diminution significative de la résistance ultime.

La température de la vapeur doit être maintenue au maximum dans l'espace clos jusqu'à ce que le béton atteigne la résistance à la compression minimale requise, qui doit être d'environ 100 bars (kg/cm²). Le temps nécessaire pour atteindre cet objectif varie en fonction du type de mélange et de la température de la vapeur à l'intérieur du récipient. [28], Ceci est présenté dans la norme CSA A23.4 sous Béton chaud et dans la figure du cycle du béton chaud.

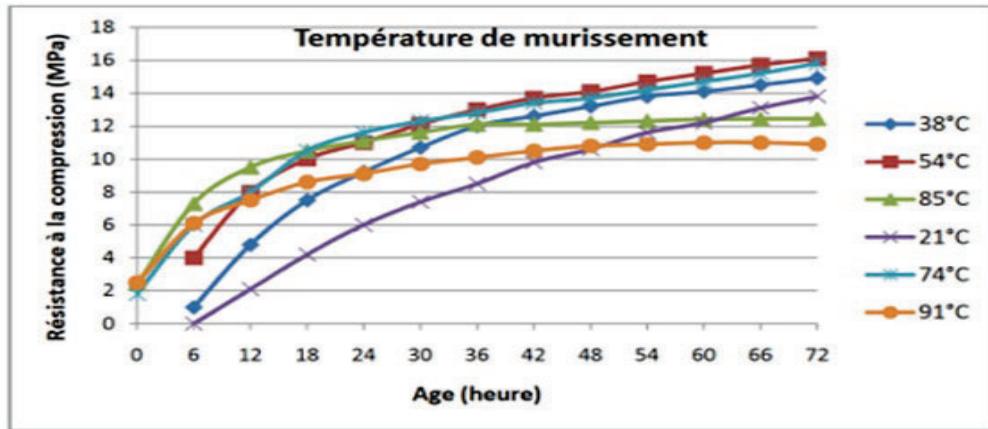


Figure I.7: Résistance d'un béton traité à la vapeur à différentes températures ($E/C = 0.55$)

[LEA 1970] [29]

III. Béton léger :

III.1. Histoire de béton léger :

Le béton est un matériau artificiel, composé d'agrégats (le plus souvent du sable et des Gravillons), de l'eau et du ciment. En y ajoutant l'adjectif « léger », on fait généralement référence aux différents types de béton caractérisés par un faible poids spécifique. On obtient une densité réduite en ajoutant au mélange des ingrédients spécifiques, ou à l'aide de techniques spéciales de production qui permettent d'obtenir une diminution de masse volumique, soit 500 à 900 kg/m³ pour le béton léger au lieu des 2.000 à 2.500 kg/m³ d'un béton « ordinaire ». Durant l'entre-deux-guerres, plusieurs marques (internationales) de béton léger sont arrivées sur le marché, mais ce n'est qu'après-guerre que ce type de matériau de construction relativement neuf s'est réellement répandu. On distinguait quatre grandes sortes de béton léger, selon le type d'adjuvant ou de technique de fabrication. La première était le béton-gaz autoclavé, auquel on a ajouté un agent gonflant. La seconde était un béton léger fabriqué avec des agrégats légers (ex. fibres de bois ou argile expansée). Venait ensuite le béton léger cellulaire fabriqué avec de la pierre volcanique ou poreuse comme de la pierre ponce ou des scories. Enfin, le béton mousse était obtenu par injection de mousse synthétique ou par mélange mécanique au fouet. Du fait de son mode de production et processus de durcissement spécifiques, le béton léger était généralement produit dans un environnement industriel contrôlé, sous forme d'éléments préfabriqués tels que blocs, panneaux, dalles ou poutres. Toutefois, certains agrégats légers ou certains types de béton prêts à l'emploi pouvaient aussi être utilisés pour du béton coulé sur place. Grâce à de vastes campagnes publicitaires, mais aussi grâce à la facilité avec laquelle les

produits en béton léger pouvaient être mis en œuvre dans la construction traditionnelle belge, des éléments préfabriqués en béton léger furent très rapidement appliqués à grande échelle dans les constructions résidentielles bruxelloises et des alentours.[30]

La popularité du béton léger durant l'après-guerre était étroitement liée aux bénéfices importants apportés par ses caractéristiques. Comme son nom l'indique, le béton léger se caractérise par une très faible densité. Du fait de cette propriété, ce dernier se définit aussi par une conductivité thermique très faible. En outre, le matériau est solide, résistant au feu et à l'humidité, facile et rapide à manipuler sur chantier sans équipement lourd. De plus, sa capacité portante et la production industrialisée d'éléments préfabriqués en béton léger rendirent le matériau très attrayant pour une large gamme d'applications allant de la construction de logements à l'érection d'usines.[30]

Le béton léger présente également des inconvénients, par exemple : les dommages causés par Effets mécaniques, sensibilité accrue à la rouille par rapport aux renforts, faiblesse Propriétés d'isolation acoustique et sa capacité à supporter des charges inférieures à celles du béton ordinaire, et Enfin, une plus grande sensibilité au gel. Les caractéristiques exactes dépendent bien sûr grandement de Mélange spécifique et technique de fabrication utilisés. [31]

III.2. Définition :

La masse volumique apparente des bétons traditionnels fabriqués avec des granulats rigides est comprise entre 2200 et 2600 kg/m³. Et la masse volumique apparente sèche des bétons légers est inférieure à 1800 Kg/m³ [RILEM (1970)]. D'autres auteurs adoptent des définitions un peu différentes : l'American Concrete Institute (1970) limite la masse volumique apparente des bétons légers à 1800 Kg/m³ après séchage à l'air pendant 28 jours. La norme DIN 1042 (1972), en Allemagne, limite la masse volumique apparente d'un béton léger à 2000 Kg/m³. [32]

En pratique, la masse volumique des bétons légers est comprise entre 100 et 1800 kg/m³ alors que celle des bétons traditionnels se situe entre 2200 et 2400 kg/m³.

Ce béton est utilisé pour l'isolation, l'éclairage ou les deux, et est également utilisé pour les éléments porteurs lorsque les matières premières sont disponibles pour obtenir la résistance requise. Nous constatons donc que le béton léger est affecté par sa résistance. Le béton léger se caractérise par son adaptabilité aux exigences de construction, par leur excellent rapport poids/résistance et par leur bonne isolation thermique (résistance au feu, à la chaleur et au gel). [33]

III.3. Classification du légers :

Le béton léger est connu pour deux propriétés :

- 1- Masse volumique du Béton
- 2- Résistance à la compression à 28 jours.

La norme EN 206 classe les bétons légers dans les six catégories de densités suivantes,

Fonction de leur masse en Kg/m³. [34]

Tableau I.1 : Classification Des Bétons Légers En Fonction De La Densité. [34]

Classe de densité	1,0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
Kg/m ³	901 à 1000	1001 à 1200	1201 à 1400	1401 à 1600	1601 à 1800	1801 à 2000

Mais La nouvelle version de la norme classe désormais le béton en fonction de sa masse volumique :

Tableau I.2 : Classification Des Bétons Légers En Fonction De La masse volumique. [34]

Classe de Masses Volumiques	LC 1,0	LC1,2	LC1,4	LC1,6	LC1,8	LC2,0
Kg/m ³	> 800 Et ≤ 1000	> 1000 Et ≤ 1200	> 1200 Et ≤ 1400	> 1400 Et ≤ 1600	> 1600 Et ≤ 1800	> 1800 Et ≤ 2100

La masse volumique et la résistance sont étroitement liées, Il existe une autre classification du béton léger basée sur la densité dans la norme : [35]

- Le béton de résistance moyenne : 800-1350 kg/m³

Sa résistance à la compression est comprise entre 7 et 17 MPa.

- Le béton léger de faible masse volumique : 300 et 800 kg/m³

N'est pas utilisé pour des applications structurales, mais surtout comme isolant thermique, RC < 7 MP.

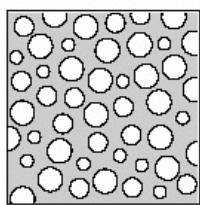
- Le béton léger de structure : 1350 – 1900 kg/m³

Utilisé pour des applications structurales et présente une résistance à la compression minimale de 17 Mpa.

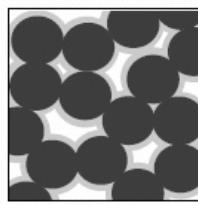
III.4. Types des bétons légers :

On distingue 3 types de bétons légers :

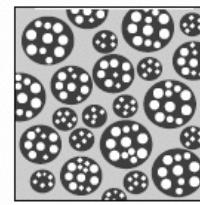
- Béton caverneux (sans sable).
- Béton à agrégats légers poreux.
- Béton cellulaire.



Béton cellulaire



Béton caverneux



Béton de granulats légers

Figure I.8 : Représentation schématique des différents types de béton léger, D'après SHORT ET KINNIBURGH [36]

III.4.1. Le béton caverneux :

Le béton à pores ouverts, également connu sous le nom de béton drainant ou caverneux, est un type de ciment qui favorise l'infiltration de l'eau pluviale grâce à sa structure perméable. Ce béton tire son nom des cavités qu'il renferme, similaires à celles que l'on trouve dans des grottes. Ces vides présentent une ouverture qui varie de 10 à 30 mm. [37]

Tableau I.3: Caractéristiques de béton léger caverneux

Types de bétons spéciaux	Propriétés, caractéristiques particulières	Utilisation, domaine d'application privilégié
Bétons légers caverneux - Béton caverneux de granulats légers - Béton de bois -Béton de liège	-Masse volumique réduite -Perméabilité à l'eau et à l'air -Absorption acoustique	-Allégement et drainage -Absorption des bruits, réduction des bruits d'impact (écrans acoustiques, chapes flottantes)

III.4.1.1 Composition :

Le béton caverneux est composé de ciment, de granulats grossiers et de l'eau avec peu ou pas de granulats fins.

III.4.1.2 Fabrication :

Gâcher en bétonnière, ou « malaxeur-transporteur » de chape pneumatique :

- Mettre un ou plusieurs sacs entiers dans la bétonnière (sans dépasser 60 de sa capacité) ;
- Ajouter graduellement, bétonnière en marche env. 3 litres d'eau pour chaque sac ;
- Gâcher pendant environ 3 minutes jusqu'à obtenir un mélange homogène avec les grains gris brillant, bien recouverts de coulis de ciment.

III.4.1.3 Utilisation :

- ✓ Le pavage des routes résidentielles
- ✓ Piétonnes,
- ✓ Des parkings,
- ✓ Des trottoirs et des serres

III.4.1.4 Avantages et les inconvenants :

- **Avantages :**

-les risques d'inondation sont évités

-les chutes cassées par une glissade sur l'eau sont supprimées

-Puisqu'il s'agit de béton, le revêtement est résistant et durable dans le temps.

- **Inconvénients :**

Les performances mécaniques sont généralement plus faibles que ceux d'un béton normal.

III.4.2 Le béton cellulaire :

Le béton cellulaire est un matériau de construction destiné au gros œuvre. Il est composé de matières naturelles : eau, sable, ciment, chaux et d'un agent d'expansion (la poudre d'aluminium) pour lui donner ses propriétés aérées. Sa première caractéristique est d'être un matériau écologique, mais attention, son processus de fabrication n'est pas vraiment neutre sur le plan environnemental d'autant qu'il contient du ciment et de l'aluminium. Ensuite, sa composition en fait un béton solide, résistant et très léger.[38]

III.4.2.1 Utilisation :

- 1) En construction pour des travaux de type mur (porteur ou non).
- 2) Cloison ou plafond, en intérieur comme à l'extérieur.
- 3) Travaux divers d'aménagement ou de finitions, comme les plans de travail de cuisine par exemple.[38]

III.4.2.2 Les avantages :

- a. Une utilisation facile.
- b. Un matériau très léger.
- c. Un excellent matériau isolant. [38]

III.4.2.3 Les inconvénients :

- a. Un matériau fragile.

Le béton cellulaire est suspecté par certaines études de causer des problèmes de santé graves tels que certains cancers ou la maladie d'Alzheimer.[38]

III.4.3 Béton de granulats légers :

Le béton de granulats légers est un béton léger contenant un pourcentage volumique important de granulats légers induisant une masse volumique inférieure à celle d'un béton normal [39].

III.4.3.1 Utilisation :

- 1. Pour alléger des structures tels que les tabliers de pont.

Pour réparer des murs ou pour isoler thermiquement des bâtiments. [39]

III.5 Caractéristiques principales des bétons légers :

Les bétons légers sont des bétons à haute porosité et dont la masse volumique se situe dans les limites de 500 à 1800 kg/m³.

Les bétons légers se subdivisent en groupes suivants : [40]

- a. Bétons d'isolation thermique (calorifuge) 500 kg/m³
 - b. Bétons calorifuge et porteur = 500+1400 kg/m³
 - c. Bétons porteur (construction) = 1400+1800 kg/m³
- a → bétons légers à agrégats légers et poreux
- b → bétons à gros pores (sans sable)

Les bétons légers à agrégats poreux se différencient des bétons lourds classiques grâce aux caractéristiques uniques des agrégats. En effet, la densité volumique des agrégats poreux est moins élevée que celle des agrégats compacts, ce qui entraîne une résistance nettement plus faible, souvent en dessous de la classe de résistance standard pour les bétons. De plus, la surface des agrégats légers est très développée et rugueuse.

III.6 Propriétés des bétons léger :**1) Résistance, Isolation et Limites :**

Dans la construction contemporaine, le béton léger est une alternative populaire en raison de ses divers atouts bénéfiques. Toutefois, il est essentiel de considérer ses éventuels désavantages et d'examiner ses caractéristiques selon les exigences particulières du projet. [40]

2) Résistance à la compression :

En dépit de sa légèreté, le béton léger montre une résistance remarquable. En fonction de sa composition, sa capacité à résister à la compression peut varier entre 15 et 50 MPa (mégapascals), ce qui le rend idéal pour une variété d'applications structurales, y compris les murs porteurs et les dalles de plancher. [40]

3) Propriétés thermiques :

On reconnaît au béton léger d'excellentes caractéristiques thermiques. En raison de sa structure poreuse, il propose une isolation thermique d'excellence, diminuant par conséquent les exigences en matière de chauffage et de climatisation. Effectivement, il peut diminuer les déperditions de chaleur jusqu'à 50 %, ce qui le rend parfaitement adapté aux bâtiments écologiques. [40]

III.7 Les avantages des bétons légers :

1. Plus léger qu'un béton classique.
2. Bonne isolation phonique et thermique.
3. Mise en place facile et rapide.
4. Forte maniabilité.
5. Non inflammable.

III.8 Les inconvénients des bétons légers :

1. Le béton léger a des résistances mécaniques inférieures à celles d'un béton ordinaire.
2. Le module élastique est aussi plus faible, donc la résistance à la déformation, la flèche et le point de rupture du matériau sont plus faibles.
3. Le béton léger est un matériau fragile. [41]

III.9 Domain d'utilisation des bétons légers :

Selon leur résistance, les bétons légers sont utilisés soit comme :

- Béton de structure : c'est le cas des bétons léger de haute performance, les bétons au laitier expansé, à l'argile frittée Expansée, aux cendres volantes. ...etc.
 - Isolant porteur : c'est le cas des bétons à la pierre ponce, béton à l'argile Expansé...etc.
 - Isolants : leur résistance est faible, dans cette catégorie on peut citer : Les bétons cellulaires.
- Dans la construction on les utilise comme :
- ✓ Bloc de maçonnerie
 - ✓ Panneau préfabriqué.
 - ✓ Mur antibruit.
 - ✓ Bardage.
 - ✓ Ouvrage extérieur

On retrouve le béton léger dans diverses applications :

- Fondation
- Rénovation
- Isolation
- Chappe [41]

IV. Le bois :

Le bois a constamment occupé une place essentielle dans les interactions entre l'homme et son environnement. Dans le domaine de la construction, grâce à ses caractéristiques particulières, il est utilisé depuis de nombreuses années comme composant dans les structures (poteaux, poutres, portes, fenêtres, etc.).

Les caractéristiques avantageuses qu'il détient incluent :

- une robustesse mécanique assez importante (en traction et en compression),
- une densité modérée,
- un faible coefficient de conductivité thermique,

- la facilité avec laquelle il peut être usiné.

Les problèmes potentiels liés à l'utilisation du bois dans la construction concernent principalement :

- son hétérogénéité et son anisotropie,
- sa réactivité face à l'humidité.

Cependant, la technologie moderne de traitement du bois a permis de résoudre ces problèmes en atténuant considérablement ces anomalies.

Bien que les caractéristiques du bois diffèrent grandement d'une espèce à l'autre en fonction des conditions météorologiques, de la qualité des sols et du taux de croissance des arbres, il est possible de regrouper les arbres qui produisent du bois en deux grandes catégories :

- Les résineux (bois mous)
- Les feuillus (bois durs) [42]

IV. 1 L'eau dans le bois :

On définit le taux d'humidité « w » du bois comme étant le rapport entre la masse de l'eau présente dans un échantillon représentatif et sa masse à l'état sec. Le point de saturation des fibres, qui représente environ 30% de leur contenu en eau, est déterminé par la quantité maximale d'eau que peuvent absorber les parois cellulaires.

Au cours du processus de séchage du bois, l'eau libre s'élimine des cellules jusqu'à ce que la limite de saturation des fibres soit atteinte. En dessous de ce seuil, l'équilibre hydrique se détermine en fonction de l'humidité relative et de la température ambiante. Des courbes expérimentales, connues sous le nom d'isothermes de sorption, décrivent l'état d'équilibre. Il convient de mentionner que, d'après Gunderson (1989), les effets de la sorption sont peu affectés par les charges mécaniques, tandis que la diffusion de l'eau a un impact notable sur la réaction mécanique du matériau.

IV. 2. Diffusion de l'eau dans le bois :

Plusieurs auteurs ont dépeint le phénomène de diffusion en utilisant une équation de diffusion simple, prenant comme référence la teneur en eau comme facteur moteur. L'application de cette hypothèse simplifiée exige des conditions isothermes durant toute l'évaluation hydrique. Des formulations plus détaillées permettent de considérer la diffusion induite par un gradient thermique. Ces méthodes impliquent une étude du transfert thermique entre le bois et son environnement. Toutefois, le lien entre le taux d'humidité et la température du bois est particulièrement complexe. Les gradients de l'eau génèrent un courant thermique, et

inversement, un gradient de température crée un flux de masse. Il faut également considérer l'impact du taux d'humidité du bois sur ses caractéristiques thermiques. [42]

IV. 3. CONDUCTIVITE THERMIQUE DU BOIS :

La conductivité thermique est dix fois inférieure à celle du béton et deux cent cinquante fois inférieure à celle de l'acier. Cela fluctue en fonction des espèces, selon leur densité et leur niveau d'humidité.[42]

Désignation	Conductivité thermique (W/m.K)	Masse volumique à 15 % d'humidité (kg//m ³)
Résineux		
sapin, Epicia	0.12	400 à 500
pin sylvestre, pin maritime	0.15	500 à 600
Feuillus		
chêne, hêtre, frêne	0.23	600 à 700

Figure I.9: valeurs de la conductivité thermique de quelques essences de bois [42]

IV. 4. Durabilité du bois :

La plupart des tests expérimentaux se déroulent sur de courtes périodes, où le niveau de contrainte dirige la phase de rupture. Cependant, à moyen et à long terme, le degré de contrainte ne constitue pas un critère pour déterminer le point de rupture. Effectivement, une combinaison de divers facteurs permet de déterminer, selon différentes méthodes, des fonctions caractéristiques aptes à dépeindre l'état de détérioration du matériau. Les recherches initiales sur la durée de vie [Wood, (1947)] ont conduit à l'établissement d'une relation entre le niveau et la durée de charge qui définit la limite de rupture. Par la suite, l'examen des phénomènes différents a permis de fusionner les effets hygrothermiques avec le passé de chargement dans le but de diminuer la longévité d'une structure en bois. [42]

Conclusion :

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté des résumés théoriques et des synthèses bibliographiques relatifs aux diverses propriétés du béton de sable et du béton léger, ainsi qu'à l'utilisation de la sciure et du bois spécifique.

Nous avons mis en avant un béton préfabriqué avec des sciure de bois ajoutées au béton qui s'appuie sur l'énergie solaire.

Chapitre 2 : Caractéristiques des Matériaux

Introduction :

Les caractéristiques des matériaux constitutifs sont intrinsèquement liées à la qualité et aux performances futures d'un béton. Effectivement, les caractéristiques essentielles du béton comme sa solidité, sa longévité et sa maniabilité dépendent directement des propriétés particulières de ses composants : le ciment, les granulats (sable et gravier), l'eau de mélange ainsi que d'éventuels additifs ou compléments.

Ainsi, il est essentiel de normaliser les procédures d'essai et d'identification de ces composants, selon les normes en place afin d'assurer que le béton obtenu présente des résultats expérimentaux fiables, reproductibles.

Ainsi, ce chapitre se concentrera sur une présentation approfondie des différents matériaux constituant le béton examiné, en soulignant leurs caractéristiques et leurs fonctions respectives. En outre, il présentera les procédures expérimentales mises en place pour leur caractérisation, en citant les normes algériennes, les normes françaises appropriées, ainsi que les méthodes de travail souvent utilisées dans le secteur.

I. Matériaux utilisés :**I.1. Le sable :**

Un seul type de sable a été utilisé est un sable de carrière (0/4 mm) est un matériau retiré du sol en masse ou fabriqué à partir de l'extraction de la roche en carrière, sable utilisé pour la construction. [41]

I.2. Le ciment :

Le ciment est un liant hydraulique (qui durcit sous l'action de l'eau), utilisé dans la préparation du béton, et aujourd'hui le plus souvent employé dans la confection des dallages des parpaings, des enduits et des mortiers.[43]

Le ciment utilisé dans cette recherche est un ciment Portland CPJ -CEM I 42.5R, de classe commerciale 42.5 MPa. Cependant, sa résistance moyenne à 28 jours est estimée entre 42.5 et 52.5 MPa. Ce ciment affiche des propriétés mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conformes à la norme NA 442-2013.



Figure II.1: Ciment CPA-CEMI /42.5

Tableau II.1: composition chimique élémentaire du ciment CPA-CEM I 42.5

Eléments	SiO ₂	Al ₂ O ³	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O	CaO libre
CEM I (%)	21.0	4.0	7.0	64.8	0.9	0.41	2.71	0.13	1.20

Tableau II.2: Composition minéralogique de clinker

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
51.30	25.70	2.80	14.30

I.3. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage est un composant crucial dans le processus de fabrication du béton. Elle est incorporée durant le mélange pour hydrater le ciment et favorise l'adhésion des éléments du béton les uns aux autres. L'ajout d'eau rend aussi le mélange beaucoup plus manipulable, ce qui simplifie l'application du béton. Pour produire du béton, l'eau utilisée doit être impeccable et ne pas être surdosée. Si ces deux critères ne sont pas suivis, la solidité de votre béton pourrait être compromise et ses caractéristiques affectées. [44]

L'eau de gâchage utilisée pour la confection des différents bétons est une eau potable de robinet du laboratoire.

I.4. Les adjuvants : (EN 934-2)**I.4. 1. Définition :**

Les adjuvants sont des produits solubles dans l'eau qui, incorporés aux bétons à des doses qui doivent être inférieures ou égales à 5 % du poids de ciment, permettent d'améliorer certaines de ses propriétés. Ils sont définis par la norme EN 934-2.

I.4.2. Sika latex :

Selon la fiche technique :

I.4.2.1 Définition :

Sika Latex® Pro est une dispersion aqueuse de résines synthétiques qui se présente sous la forme d'un liquide laiteux. Il s'ajoute directement à l'eau de gâchage des mortiers de ciment.

I.4.2.2 Les Avantages :

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

I.4.2.3 Utilisation :

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



Figure II.2 : Sika latex

I.5. Sciure de bois :

La sciure de bois dans le béton léger est décrite comme un matériau de remplissage léger où une portion ou l'intégralité des granulats minéraux conventionnels (tel que le sable) est substituée par de la sciure, dérivé secondaire du travail du bois.

Utilisée dans le béton léger, la sciure de bois est un agent allégeant organique et lignocellulosique obtenu par la transformation mécanique du bois. En se substituant aux agrégats traditionnels, elle diminue la densité du béton et peut influencer ses performances thermiques, acoustiques et mécaniques.



Figure II.3: Sciure de bois

I.5.1 Traitements de la sciure de bois :

- Séchage initial : Étaler la sciure et la laisser sécher à l'air libre.
- Lavage : Laver avec de l'eau pour éliminer les impuretés.
- Trempage alcalin : Immerger 24 h dans une solution d'eau et de chaux (5 %) pour neutraliser les tanins.
- Rinçage : Rincer abondamment à l'eau claire.
- Séchage final : Laisser sécher jusqu'à atteindre un taux d'humidité inférieur à 12 %.

I.6. Plastifiants :

I.6.1 Définition et rôle des plastifiants :

La norme NF EN ISO 472 définit un plastifiant comme : « une substance de volatilité faible ou négligeable, incorporée à un plastique, destinée à abaisser son intervalle de ramollissement, faciliter sa mise en œuvre et augmenter sa flexibilité ou son extensibilité ». Les plastifiants sont généralement des composés liquides, polymérisés ou non, de faibles masses molaires. Ils modifient les propriétés rhéologiques du polymère, augmentent la souplesse du produit fini, sa tenue aux chocs et sa flexibilité aux basses températures.



Figure II.4: Le plastifiant BV-40 (réducteur d'eau)

II. Essais effectués sur les granulats :

Une série d'essais d'identification a été menée sur le granulat utilisé, qu'il soit naturel ou artificiel, sable ou gravillon. Ces tests nous fourniront des informations sur la qualité des granulats et sur l'éventualité d'employer ces derniers dans la construction d'ouvrages en béton.

II.1 Analyse granulométrique par tamisage : (NF EN 933-2)

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon 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.

Avant l'opération de tamisage, l'échantillon est lavé au-dessus d'un tamis de 0,063 mm afin d'éliminer les fines et éviter ainsi l'agglomération des grains, ceci pouvant fausser les résultats de l'analyse. L'analyse granulométrique est conduite sur la fraction refusée par le tamis de 0,063 mm.

II.1.1. Matériel Nécessaire :

- Balance précise à ± 0.1 % de la masse de la prise d'essai.
- Etuve ventilée, capable de maintenir une température de (110 ± 5) °C.
- Tamiseuse
- Matériel de lavage.
- Colonne de tamis (avec fond et couvercle).

II.1.2 Module de finesse :

Il est égal au centième de la somme des refus cumulés, exprimés en pourcentage, aux tamis de 0,16; 0,315; 0,63; 1,25; 2,5 et 5 mm.

Certaines autres sources classifient le sable en fonction de son module de finesse de la manière suivante :

1,8 FM <2,2 : le sable contient principalement des éléments fins et très fins ;

2,2<FM <2,8 : un sable de qualité pour le béton.

2,8< FM <3,2 : le sable est déficient en particules fines.

$$M_f = \sum \text{refus cumulés en \% pondéral des tamis (0.16 - 0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 mm) /100}$$



Figure II.5: Les tamis pour l'analyse granulemétrique

II.2. Essai d'équivalent de sable (EN 933-8) :

II.2.1 Généralités :

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. L'essai consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui floquent.

La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse sédimentée.

II.2.2 Principe :

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait par voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants:

- hauteur h_1 : sable propre + éléments fins,

- hauteur h_2 : sable propre seulement.



Figure II.6: essai de équivalent de Sable (EN 933-8)

II.2.3 Expression des résultats :

Calculer l'équivalent du sable (Es) et l'équivalent du sable visuel (Esv) pour les deux prises d'essai comme suit :

$$Es = (h2/h1).100; Esv = (h'2/h1).100$$

Calculer les valeurs moyennes de Es et Esv. Les valeurs finales sont arrondies à l'entier le plus voisin.

Tableau II.3: résume les renseignements sur la qualité du sable en fonction de la valeur de l'ES

ES à vue	ES piston	Renseignements sur la qualité du sable en fonction de la valeur de l'ES.
ESV < 65	ES < 60	Sable argileux d'où risque de retrait ou de gonflement ; ne doit pas être utilisé dans la confection de bétons De qualité.
65 ≤ ESV ≤ 75	60 ≤ ES ≤ 70	Sable légèrement argileux ; peut être admis à la confection de bétons de qualité courante risquant de présenter un retrait plus important, à moins que l'essai au bleu ne donne une valeur $VB_{ta} \leq 1$.
75 ≤ ESV ≤ 85	70 ≤ ES ≤ 80	Sable propre ; un $ESV > 75$ permet en fait d'obtenir des bétons de résistance relativement élevées, mais le fascicule 65 A spécifie un $ESV \geq 80$ pour les bétons de résistance > 30 MPa.
ESV ≥ 85	ES ≥ 80	Sable très propre ; la très faible teneur en fines argileuses peut entraîner un défaut de plasticité que l'emploi d'un adjuvant Plastifiant doit compenser.

III. Masses volumiques des granulats (Normes : NF P 18-554 et NF P 18-555 et NA 255) :**III.1 Masse volumique apparente :****III.1.1. Définition :**

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

- La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté.
- La masse volumique apparente sèche P_d est la masse de granulats secs (M_s) occupant un volume apparent (volume des solides : V_s + volume des vides V_v).

III.1.2. Mode opératoire :

1. Déterminer le volume du récipient V
2. Noter la masse du récipient propre et vide = M_0
3. Placer le récipient dans le bac en plastique
4. Verser les granulats secs, par couches successives et sans tassemement : utiliser les mains comme entonnoir naturel
5. Araser à l'aide de la règle métallique par un mouvement horizontal de va et vient
6. Noter la masse du récipient rempli = M_1
7. Vider les granulats dans un autre bac en plastique
8. Renouveler l'opération au moins deux (2) fois avec un autre échantillon du même type.

III.1.3. Résultat :

- La masse volumique apparente est donnée par :

$$\rho = \frac{M_1 - M_0}{V}$$



Figure II.7 : La masse volumique apparent de (sable 0/4 et ciment st sciure de bois)

III.2. Masse volumique absolue (masse spécifique) :

III.2.1. Définition :

- La masse spécifique est la masse de granulats secs (Ms) rapportée au volume absolu (uniquement volume de solides Ys).
- La mesure du volume des solides ne tient pas compte des pores fermés contenus par les granulats.

III.2.2. Matériel nécessaire :

- Des éprouvettes graduées en plastique.
- Une tige agitatrice
- Un entonnoir pour le remplissage
- Une balance de portée 2 : 5 kg, précision 1g
- Des bacs en plastique pour effectuer les essais

III.2.3. Mode opératoire : Méthode de l'éprouvette graduée

1. Placer l'éprouvette dans le bac en plastique
2. Verser de l'eau dans l'éprouvette (presque demi hauteur) et noter V1

3. Préparer un échantillon de granulats secs de masse M (environ 300 g)
4. Verser l'échantillon dans l'éprouvette à l'aide d'un entonnoir et provoquer le départ des vides (air) en remuant le mélange avec la tige agitateur
5. Noter le nouveau volume d'eau dans l'éprouvette V2
6. Vider les granulats dans un bac en plastique et jeter son contenu
7. Renouveler l'opération au minimum 2 fois

III.2.3. Résultat :

La masse volumique absolue est donnée par :

$$\rho = \frac{M}{V_2 - V_1}$$



Figure II.8 : la masse volumique absolue du (sciure de bois et sable 0/4)

IV. Méthode de la mesure au pycnomètre :

IV.1 Équipement nécessaire :

Le pycnomètre est un petit ballon d'environ 50 à 100 cm³, fermé dans sa partie haute par un bouchon rodé, ce qui permet d'isoler un volume d'eau caractéristique de l'appareil, identique à chaque utilisation.

Il existe différents types de pycnomètres, certains étant munis d'un trait de niveau qu'il faut respecter de manière très précise, d'autres étant conçus de telle manière que la fermeture du bouchon isole de manière automatique et systématique le même volume.

IV.2. Conduite de la mesure :

1. Déterminer avec précision la masse M1 du pycnomètre rempli d'eau jusqu'au niveau du trait repère.
2. Déterminer avec précision la masse M2 d'un échantillon de matériau sec (environ 50 g).
3. Introduire la totalité du matériau dans le pycnomètre, remplir d'eau, fermer le bouchon et amener le niveau de l'eau au niveau du trait repère. Vérifier que le pycnomètre ne contient aucune bulle d'air. Peser alors le pycnomètre, soit M3. $M3=M+M2-M2/\rho_s \times \rho_w$

On peut alors écrire la relation entre les différents poids mesurés :

$$M3=M+M2-M2/\rho_s \times \rho_w$$

en déduit la masse volumique ρ_s du matériau, connaissant la masse volumique de l'eau ρ , qui est égale à 1g/cm³ ou 1 t/m³.



Figure II.9: essais de la masse volumique absolue (méthode de pycnomètre)

V.1. Essai de consistance de pâte ciment (EN 196-3) :

La consistance d'une pâte reflète sa fluidité. L'essai de consistance, effectué avec l'appareil de Vicat selon la norme EN 196-3, est la méthode usuelle pour la déterminer.

V.1.2. Principe de l'essai :

La consistance est déterminée en mesurant l'enfoncement dans la pâte, d'une tige cylindrique sous l'effet d'une charge constante. L'enfoncement est d'autant plus important que la

consistance est plus fluide. La consistance évaluée de cette manière sera appelée « consistance Vicat »

V.1.3. Conduite de l'essai :

Il s'agit de confectionner une pâte de consistance normalisée : $C=500\text{g}$ et $E=125\text{g}$

- Introduire la quantité d'eau choisi dans la cuve du malaxeur. (ici, on peut déterminer $E/C=0.25$)
- Peler 500g de ciment et l'introduire dans la cuve du malaxeur.
- Mettre immédiatement le malaxeur en marche à la vitesse lente pendant 90 s.
- Arrête le malaxeur pendant 15 s.
- Ramener, dans la gâchée avec une petite truelle, la pâte adhérant à la cuve et se trouvant au-delà de la zone de malaxage.
- Remettre la machine en route pour une durée de 90s à vitesse lente.
- La pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessive ; Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et -vient effectuer avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat.
- Quatre minutes après le début du malaxage, la sonde est amenée à la surface supérieure de l'échantillon (moule tronconique) et relâchée sans élan. La sonde alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30s d'attente), on mesure la distance « d » séparant l'extrémité de la sonde et de la plaque de base. Cette distance (d) caractérise la consistance de la pâte étudiée.

* Si $(d)=6\text{ mm}\pm 1\text{ mm}$, on dit que la consistance de la pâte étudiée est normalisée. (Consistance normalisée).

* Si (d) n'atteint pas cette valeur (c.à.d. $d > 7\text{ mm}$ ou $d < 5\text{ mm}$), il convient de refaire l'essai avec une valeur différente du rapport E/C jusqu'à atteindre la valeur recherchée de la consistance.



Figure II.10: Appareil de Vice de sa sonde pâte de consistance



Figure II.11: Malaxeur normalisé pour pâte de mortier normal

V.2. Essai de prise de la pâte de ciment EN 196-3

L'hydratation du ciment anhydre débute dès son mélange avec l'eau, entraînant une évolution progressive des propriétés de la pâte ainsi formée. Initialement malléable, voire plastique, cette pâte voit sa maniabilité diminuer avec l'avancement de l'hydratation. Simultanément, sa température s'élève, marquant le début de la prise et un durcissement progressif.

V.2.1. Principe de l'essai :

L'essai consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance normalisée ; l'appareil utilisé est appareil de Vicat équipé d'une aiguille de 1,13 mm de diamètre.

- Lorsque sous l'effet d'une charge de 300 g l'aiguille s'arrête à une distance d du fond du moule telle que $d = 4\text{mm} \pm 1\text{ mm}$, on dit que le début de prise est atteint. Ce moment, mesure à partir du début du malaxage, est appelé « temps de début de prise ».
- Le « temps de fin de prise » est celui au bout duquel l'aiguille ne s'enfonce plus que de 0,5 mm.

V.2.2. Conduite de l'essai :

Il s'agit de confectionner une pâte de consistance normalisée : $C=500\text{g}$ et $E=125\text{g}$

- Introduire la quantité d'eau choisi dans la cuve du malaxeur. (ici, on peut déterminer $E/C=0.25$)
- Peser 500g de ciment et l'introduire dans la cuve du malaxeur.
- Mettre immédiatement le malaxeur en marche à la vitesse lente pendant 90 s.
- Arrête le malaxeur pendant 15 s.
- Ramener, dans la gâchée avec une petite truelle, la pâte adhérant à la cuve et se trouvant au-delà de la zone de malaxage.
- Remettre la machine en route pour une durée de 90s à vitesse lente.

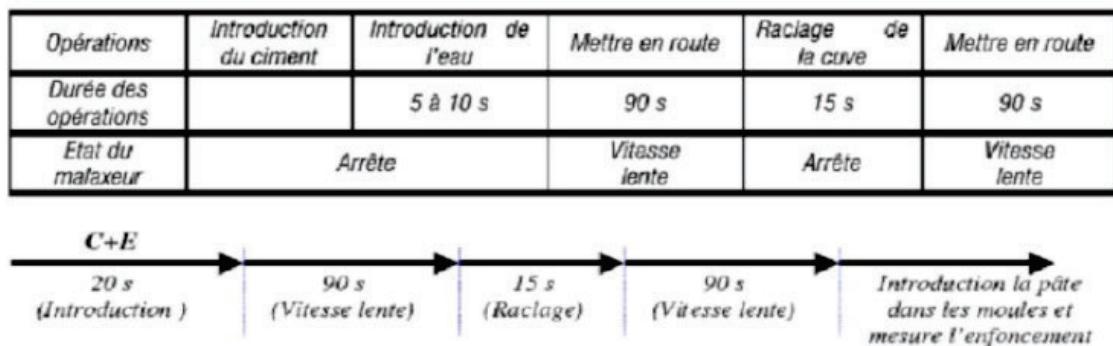


Figure II.12 : début de prise et fin de prise

- La pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessive ; Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectuer avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de Vicat. - Quatre minutes après le début du malaxage, la sonde est amenée à la surface supérieure de l'échantillon (moule tronconique) et relâchée sans élan. La sonde alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30s d'attente), on mesure la distance « d » séparant l'extrémité de la sonde et de la plaque de base. Le temps zéro est celui où l'eau est ajoutée au ciment.
- Recommencer l'opération à des intervalles de temps convenablement espacés ($\sim 10 - 15\text{ mn}$) jusqu'à ce que $d=4\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$. Cet instant mesuré à 5 mn près est le temps de début de prise pour le ciment concerné.

- Retourner le moule tronconique du ciment déjà utilisé pour l'essai de début de prise. Ainsi, les essais de fin de prise soient faits l'autre face de l'échantillon.
- Munir l'aiguille d'un accessoire annulaire pour faciliter l'observation des faibles pénétrations de l'aiguille.
- Enregistrer à 15 min près, le temps au bout duquel l'aiguille ne pénètre pour la première fois qu'à 0.5 mm dans l'éprouvette.
- Le temps de fin de prise du ciment étudié est le temps au bout duquel l'accessoire annulaire cesse de laisser une trace sur l'éprouvette.

VI. Coefficient d'Absorption des granulats : NF P 18-554 ET NF P 18-555

VI.1. Définition :

Le sable possède une caractéristique physique importante, le coefficient d'absorption, qui indique sa capacité à retenir un liquide, principalement de l'eau. Ce trait est essentiel dans divers domaines, y compris la construction (le béton, le mortier), les travaux publics (les routes, les fondations) et même certaines utilisations industrielles. Le volume d'eau que le sable peut absorber peut avoir un impact notable sur les caractéristiques des combinaisons où il est intégré, influençant par conséquent la facilité de manipulation, la solidité et la longévité du béton.

VI.2 Principe de la mesure :

On détermine un coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 heures à 20 °C. Le coefficient d'absorption Ab est défini par la relation :

$$Ab = (Ma - Ms / Ms) \times 100$$

Ms = masse de l'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 °C.

Ma = masse de l'échantillon imbibé, surface sèche déterminée comme suit.

VI.3. Mesure pour les sables (NFP 18-555) :

Après imbibition, étaler l'échantillon sur une surface plane non absorbante et le soumettre à un flux d'air chaud, tout en le remuant afin que la surface externe des grains sèche. Ce séchage doit être effectué de manière douce afin de ne pas éliminer l'eau qui pourrait être piégée à l'intérieur du granulat. Veiller également à ne pas perdre de grains de sable au cours de l'opération.

ration. Les grains sont alors libres de toute force d'attraction capillaire. On peut vérifier que cet état a été atteint en plaçant le matériau dans un moule tronconique, posé sur une surface plane non absorbante, et en le compactant légèrement. On vérifie que celui-ci s'écoule en démoullant.



Figure II.13: absorption des granulat (NFP 18-555)

VII. Essais chimiques à l'acide sulfurique :

Les éprouvettes en béton ont été plongées dans un bain de solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) à une concentration de 5%. La sélection de cette dernière repose sur l'étude de (L. Wu, 2021) [59], dans laquelle le processus de décomposition a été accéléré pour simuler au mieux les conditions réelles où la décomposition pourrait s'étendre sur plusieurs années. Les éprouvettes ont été scindées en deux sections pour effectuer une comparaison et quantifier précisément l'impact binaire de la pré-fissuration et de la décomposition par l'acide sulfurique. La première section a été renforcée avec de l'eau du robinet, alors que l'autre a été plongée dans une solution d'acide sulfurique.[29]



Figure II.14: Essai d'attaque à l'acide sulfurique

1. Formulation :

Ces formulations visent à concevoir un béton léger à faible densité, offrant une isolation thermique et phonique renforcée. Ce type de béton est destiné à être utilisé dans la construction de structures légères et isolantes. Ce béton fibré léger est fabriqué avec un agent moussant qui augmente sa porosité.

2. Préfabrication des bétons :

Après moulage de béton et démoulage de 1 moule d'échantillon (04×04×16) cm de 12×3 échantillons.

Le béton a l'air liber à l'âge de (28 jours) la résistance égale : **O= 44.42 Mpa**

3. Traitement du béton de sable par étuvage et variance de cure (nombre de jour dans l'enceinte avec nombre de jours à l'air libre) :

Tableau II .4: Durcissement du béton léger (combinaison d'étuvage en boite et à l'air libre)

ép	1j boite	1j boit + 1j air liber	1j boit +2j air liber	1j boit + 3j air liber	1j boit + 4j air liber	1j boit + 5j air liber	1j boit + 6j air liber	1j boit + 7j air liber
3	O=29.17							
3		O=31,94						
3			O=33,61					
3				O=35,93				
3					O=35,90			
3						O=35,98		
3							O=36,70	
3								O=37,69

Epro u vette	2j boit liber	2j boit + 1j air liber	2j boit + 2j air liber	2j boit + 3j air liber	2j boit + 4j air liber
3	O =33,48 Mpa				
3		O =36,60 Mpa			
3			O =37,61Mpa		
3				O =39,93 Mpa	
3					O =39,80 Mpa

➡ On opte pour un durcissement du béton (2 jours dans la boit + 4 jours à l'aire libre)

Formulation de 06 type de béton de sable léger :

❖ **Formulation 1 : Témoin**

La composition du béton obtenus à partir d'un mélange et sable carrier (0/4) et ciment et l'eau

❖ **Formulation :** 2, 3, 4, 5 et 6 avec pourcentage de sciure de bois de 5%, 10%, 15%, 20% et 25% respectivement et La sciure de bois employés dans la composition de béton sont obtenus à partir d'un mélange ternaire de sable calcaire concassé (0/4) et ciment et eau .

Tableau II.5 : les formulations des bétons

Composition	Formulation 1	Formulation 2	Formulation 3	Formulation 4	Formulation 5	Formulation 6
Sable (0/4)	1200 g	1140 g	1080 g	1020 g	960 g	900 g
Ciment	400 g					
Eau	200 ml					
Sciure de bois		60 g	120 g	180 g	240 g	300 g
Sika latex		16 g				
Plastifiant		4 g	4 g	4 g	4 g	4 g

VIII. Essais sur le béton frais :

VIII.1. Maniabilité (essais d'étalement) : (NF P 18-452 et P 15-437)

Objectif de l'essai :

C'est une mesure qui est utile pour apprécier l'efficacité d'un adjuvant plastifiant, ou superplastifiant, sur la fluidité d'un mortier ou sur la réduction d'eau qu'il permet de réaliser à consistance égale. Il convient donc de définir un mode opératoire susceptible d'apprécier cette consistance ; c'est l'Objet des essais définis par la norme NF P 18-452 et le fascicule P 15 437.

Principe de l'essai :

Dans ces essais la consistance est caractérisée par le temps que met le mortier pour s'écouler sous l'effet d'une vibration.

Equipement nécessaire :

L'appareil utilisé est appelé « maniabilimètre B ». Il consiste en un boîtier parallélépipédique métallique (60 cm x 30 cm x 30 cm), posé sur des supports en caoutchouc, équipé d'un vibrateur et muni d'une cloison amovible. Un malaxeur normalisé est également requis pour la réalisation du mortier.

Conduite de l'essai :

Le mortier est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place en 4 couches, chaque couche étant soumise à 6 coups au moyen de la tige de piquage. 4 minutes

après la fin du malaxage la cloison est retirée, provoquant la mise en route du vibrateur et le déclenchement d'un chronomètre par l'opérateur. Sous l'effet de la vibration le mortier s'écoule. Le chronomètre est arrêté quand le mortier atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier. Le temps t mis par le mortier pour s'écouler caractérise sa consistance. Ce temps sera d'autant plus court que le mortier sera plus fluide (ou plus maniable, d'où le nom de l'appareil).



Figure II.15: essais de maniabilité (NF P 18-452 et P 15-437)

Consistance d'utilisation	Valeurs d'étalement
Mortier raide	< 14 mm
Mortier plastique	Entre 140 et 200 mm
Mortiers fluide	> 200 mm

Figure II.16: valeurs d'étalement NF EN 1015-3

IX. Essais sur le béton durci :

IX.1. La masse volumique sèche des éprouvettes : NBN EN 1015-10

IX.1.1 Principe :

La masse volumique sèche d'une éprouvette donnée de mortier durci est déterminée par le quotient de sa masse à l'état sec en étuve par le volume qu'elle occupe lorsqu'elle est immergée dans l'eau, à l'état saturé.

IX.1.2 Echantillon :

Trois éprouvettes prismatiques avec des dimensions 160 x 40 mm x 40 mm.

IX.1.3 Quelques particularités :

- Confection des mortiers suivant NBN EN 1015-2. Une certaine valeur d'étalement, fonction de la masse volumique apparente du mortier frais, doit être obtenue.

- La préparation et le stockage des éprouvettes dépendent du type de mortier et sont conformes à la NBN EN 1015-11.
- La masse m_s , sec est mesurée sur un échantillon séché à $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ jusqu'à masse constante. Pour les échantillons contenant des constituants organiques, par exemple des granulats de polystyrène expansé, le séchage est à $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Le volume est déterminé par déplacement volumétrique après saturation en eau de l'échantillon. L'état de saturation étant atteint lorsque deux pesées successives, effectuées à 15 min d'intervalle durant l'immersion, ne diffère pas de 0,2 % en masse.
- Le résultat est exprimé à 10 kg/m^3 près



Figure II.17 : la masse volumique sèche d'éprouvette (4*4*16 cm)

IX.2. Le Vitesse Propagation des ondes par ultrason (EN 12504-4): Auscultation sonique

IX.2.1 Définitions :

- Temps de parcours : temps mis par une impulsion ultrasonique pour parcourir la distance entre le transducteur-émetteur et le transducteur-récepteur à travers le béton ;
- Départ : premier front de l'impulsion, détecté par l'appareil de mesurage.

IX.2.2 Objectif :

Le but de l'essai est d'évaluer la qualité du béton durci de l'ouvrage en déterminant la vitesse de propagation des ondes ultrasonores longitudinales dans celui-ci.

IX.2.3 Principe de l'essai :

L'essai consiste à mesurer le temps de propagation de la première impulsion d'un trait d'ondes appelées ondes longitudinales, généré par un transducteur, entre deux points déterminés du béton.

IX.2.3. Résultat :

V : vitesse de propagation.

$$V = S / T \cdot 10^6$$

S : distance entre les têtes en mètre

T : temps en microseconde.



Figure II.18: Essai d'ultrason des éprouvettes (EN 12504-4)

Tableau II.6 : qualité du béton à partir de la vitesse de son [29]

<i>Vitesse de son m/s</i>	<i>Appréciation de la qualité</i>
<2000	Très mauvais
2000 à 3000	Médiocre
3000 à 3500	Assez bon
3500 à 4500	Bon
>4500	Excellent

IX.3. Essai de résistance à la compression et traction des éprouvettes NF EN 196-1 :

IX.3.1. Domaine d'application :

La présente norme spécifie une méthode de détermination de la résistance en compression d'éprouvettes de béton durci, qui peut être mesurée en laboratoire sur des éprouvettes prismatique ($4 \times 4 \times 16$).

IX.3.2. Principe de l'essai :

L'essai consiste à étudier les résistances à la traction et à la compression d'éprouvettes de mortier normal. Dans un tel mortier la seule variable est la nature du liant hydraulique (cf. § 5-1); la résistance du mortier est alors considérée comme significative de la résistance du liant utilisé



Figure II.19: les moules d'éprouvette $4 \times 4 \times 16$

IX.3.3. Conduite de l'essai :

La norme EN 196-1 décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.

Avec le mortier normal préparé comme indiqué au paragraphe 5-1, on remplit un moule $4 \times 4 \times 16$. Le serrage du mortier dans ce moule est obtenu en introduisant le mortier en deux couches et en appliquant au moule 60 chocs à chaque fois. Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide.

Entre 20 h et 24 h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans de l'eau à $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ jusqu'au moment de l'essai de rupture.

Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes EN 197-1 et NF P 15-301 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 2 (ou 7 jours) et 28 jours (cf. tableau 6.2). Ces âges sont donc impératifs pour vérifier la

conformité d'un ciment. Si des essais sont réalisés à d'autres âges, ils devront être réalisés dans les limites de temps

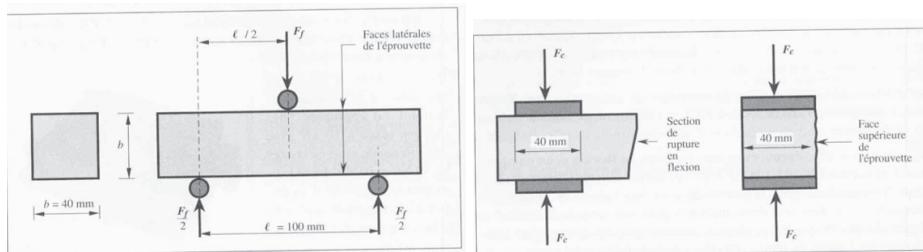


Figure II.20: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion et dispositif de rupture Compression

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

$$R_F = 1.5 * F_f l / b^3$$



Figure II.21: machine de compression.

IX.4. Détermination de la résistance à la flexion des éprouvettes NA 428 : 1989

IX.4.1. Object et domaine d'application :

La présente Norme spécifie une méthode de détermination de la résistance à la flexion d'éprouvettes en béton durci, par application d'un moment constant dans la zone centrale (charge en deux points).

- La méthode par application d'une charge unique centre, qui peut également être employée, est décrite en annexe.

IX.4.2. Principe de l'essai :

Des éprouvettes prismatiques sont soumises jusqu'à rupture à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale atteinte au cours de l'essai est enregistrée, et la résistance en flexion est calculée.

IX.4.3. Eprouvettes :

Les essais sont réalisés sur éprouvettes prismatiques.



Figure II.22: Les éprouvette 4×4×16



Figure II.23: La machine de flexion par traction

IX.6. Retrait et gonflement : (NF P 15-433)

IX.6.1. Objectif de l'essai :

Il s'agit d'évaluer le retrait, ou le gonflement, que provoque le ciment étudié sur des éprouvettes de mortier normal.

IX.6.1Principe de l'essai :

On compare, à différents temps t , la variation de longueur d'une éprouvette 4 x 4 x 16, par rapport à sa longueur à un temps t_0 pris pour origine.

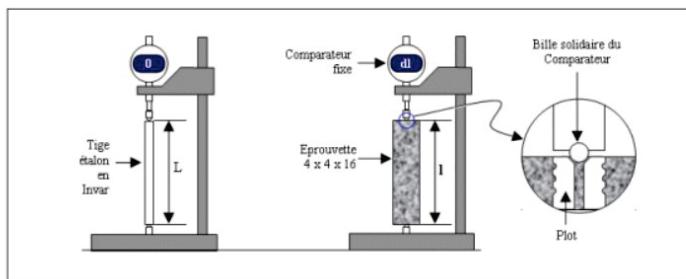


Figure II.24 : Appareillage pour la mesure du retrait

IX.6.2. Conduite de l'essai

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur $L = 160$ mm. Soit $Dl(t)$ la valeur lue sur le comparateur au temps T ; l'éprouvette a une longueur au temps considéré :

$$L = L + dL(t)$$

Soit (t_0) la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi pour origine. En général cette origine est prise au moment du démoulage, soit 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps l sera :

$$\Delta l(t) = L(t) - L(t_0) = dL(t) - dL(t_0).$$

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

$\Delta l(t) / L(t) - \Delta l(t_0) / L(t_0)$

$$\varepsilon(t) = \Delta L(t) / L = dL(t) - dL(t_0) / L$$

$\Delta l(t)$ est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air $\Delta l(t)$ est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, $\Delta l(t)$ peut être positif : il y a alors gonflement.



Figure II.25 : essais de retrait

XI.7. Absorption par immersion total :

On détermine généralement l'absorption en séchant une éprouvette jusqu'à obtenir une masse stable, en la plongeant dans l'eau et en calculant l'accroissement de masse exprimé en pourcentage par rapport à la masse sèche.

L'essai d'absorption par immersion a effectivement été réalisé, en commençant par sécher des échantillons (4x 4 x 16) cm de mortier dans une étuve jusqu'à obtenir une masse stable.

Ensuite, ceux-ci ont été complètement immergés dans l'eau pendant 72 heures jusqu'à atteindre la saturation des matériaux.

Le but de cette expérience est de calculer la quantité d'eau que les éprouvettes peuvent retenir après une immersion complète pendant un laps de temps défini.

Pour chaque type de mortier, les résultats obtenus sur trois éprouvettes sont présentés en pourcentage sous la forme de la moyenne de trois mesures effectuées.

Effectivement, les pesées des éprouvettes ont été réalisées après chaque période de 24 heures d'immersion complète dans l'eau. Nous avons nécessité 72 heures, soit trois jours, pour atteindre une saturation totale.

Après avoir obtenu la masse saturée et ayant déjà connaissance de la masse à sec, nous avons pu établir la masse d'eau absorbée. [30]



Figure II.26 : absorption par immersion d'éprouvette (4*4*16)

Conclusion :

À l'issue de ce chapitre consacré à la caractérisation des matériaux constituant le béton, il apparaît clairement que les propriétés finales du béton dépendent étroitement de la nature, de la qualité et de la conformité de chacun de ses composants. Qu'il s'agisse du sable, du ciment, de l'eau de gâchage, des adjuvants chimiques ou encore des matériaux alternatifs comme la sciure de bois, chaque élément joue un rôle précis dans les performances globales du béton.

Les différentes campagnes d'essais réalisées – granulométrie, équivalent de sable, masse volumique, absorption, consistance, prise, maniabilité, résistance mécanique, etc. – ont permis d'identifier avec précision les caractéristiques techniques des matériaux utilisés. Ces résultats, analysés selon les normes en vigueur (EN, NF, NA), garantissent la validité des choix opérés pour la formulation des bétons étudiés.

Ainsi, ce chapitre constitue une base essentielle pour les travaux expérimentaux à venir, et permettra d'interpréter avec rigueur les résultats des essais sur le béton frais et durci, dans le but d'évaluer leur aptitude à l'emploi selon les critères de résistance, durabilité et performance énergétique.

Chapitre 3 : Résultat et discussion

INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, nous allons présenter en détail les divers résultats expérimentaux obtenus à partir des différents essais rigoureux menés sur les bétons. Ces expérimentations ont été réalisées en stricte conformité avec les protocoles opératoires minutieusement décrits au chapitre III. Par la suite, une analyse approfondie et une discussion argumentée de ces résultats seront exposées, mettant en lumière leurs implications et leur signification. Enfin, une comparaison pertinente sera établie avec les données et les conclusions rapportées dans la littérature scientifique existante, afin d'évaluer la cohérence et les éventuelles divergences de nos observations.

I. Résultat d'essai de matériaux utilisé :

I.1. Sable :

Le sable utilisé provient de Ain Touda (Batna) de dimensions ($d/D = 0/4$).

I.1. 1 Analyse granulométrique de sable :

Les résultats obtenus de l'analyse granulométrique par tamisage de sable calcaire concassé ($0/4$).

Tableau III.1 : l'analyse granulométrique

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisât cumulés (%)
4	3,31	3,31	0,22	99,78
2	369,14	372,45	24,83	75,17
1	388,9	761,35	50,75	49,25
0,5	280,28	1042,03	69,46	30,54
0,25	183,81	1225,84	84,72	15,28
0,125	172,12	1397,96	93,2	6,8
0,063	78,1	1476,06	98,4	1,6
Fond	22,75	1498,81	99,92	0,08

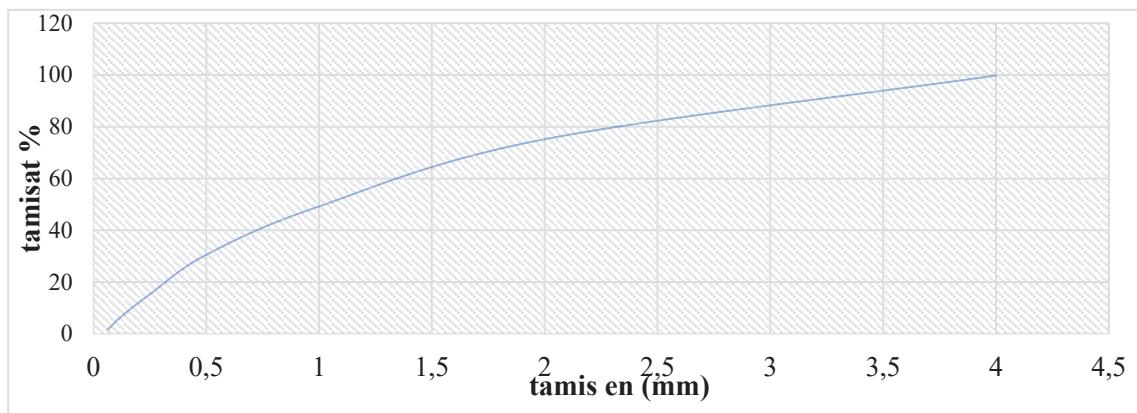


Figure III.1 : analyse granulométrique

I.1.2 Propriétés physiques du sable :

Tableau III.2: les propriétés physiques de sable

Matériaux	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Module de finesse	Équivalent de sable (%)	Coefficient d'absorption (%)
Sable	1.56	2.72	3.23	89.09	11.57

Les valeurs de l'équivalent sable révèlent la composition du sable selon le mode de mesure et contribuent à évaluer sa qualité pour la formulation d'un béton.

Le résultat de notre sable est de 89.09% Sable très propre ; la très faible teneur en fines argileuses peut entraîner un défaut de plasticité que l'emploi d'un adjuvant Plastifiant doit compenser.

I.2 Ciment :

Le liant utilisé :

- Ciment Portland CPA-CEM I/42.5

I.2.1 Propriétés physiques du ciment:

Tableau III.3: propriétés physiques du ciment

	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique absolue (g/cm ³)
Ciment	0.94	3.08

- **La masse volumique absolue par la méthode de Pycnomètre :**

1. Le volume du pycnomètre :

$$V = M_2 - M_1 / \rho = 157.19 - 57.70 / 0.9990 = 99.59 \text{ cm}^3$$

2. Calculez la masse volumétrique absolue d'un liquide neutre à l'aide de l'équation :

$$\rho = M_3 - M_1 / V = 129.53 - 57.70 / 100 = 0.72 \text{ g/cm}^3$$

3. Calculez la masse de fluide neutre déplacée en plaçant du ciment comme suit :

$$M_t = M_3 - (M_5 - M_4) = 129.53 - (148.80 - 25.14) = 5.87 \text{ cm}^3$$

4. Calculez le volume du faisceau :

$$V_C = M_t / \rho = 5.87 / 0.72 = 8.15 \text{ cm}^3$$

5. La masse volumétrique absolue du liant (ciment) :

$$\rho = M_4 / V_C = 3.08 \text{ g/cm}^3$$

I.3 Sciure de bois :

En utilisées la sciure de bois provenant de bois tendre (ex. pin)

I.3.1 propriétés de sciure de bois :

Tableau III.4: propriétés de sciure de bois

Matériaux	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Coefficient d'absorption (%)
Sciure de bois	0.08	0.50	34.62

II. Les résultats:

II.1 Les propriétés des matériaux utilisés:

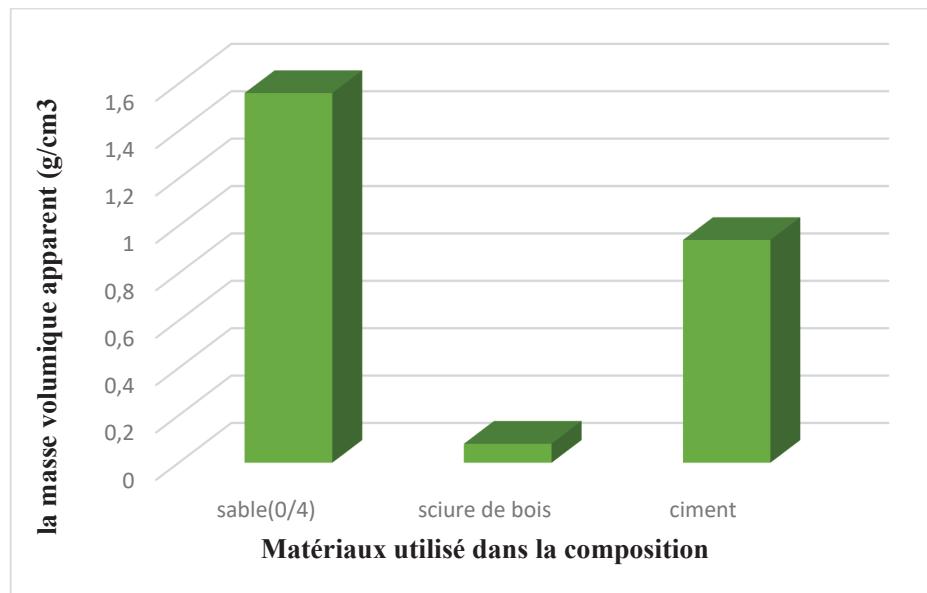


Figure III.2 : la masse volumique apparente des matériaux utilisés

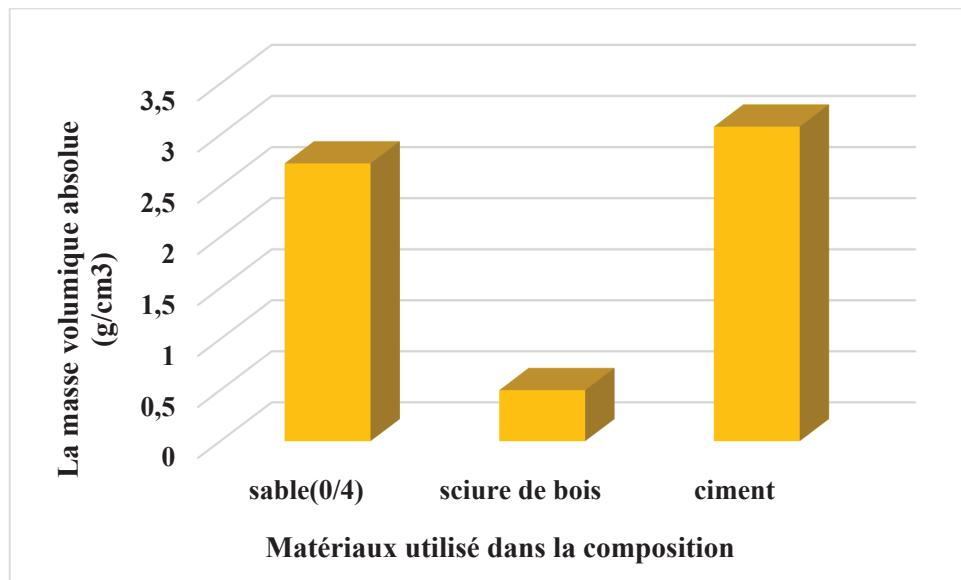


Figure III.3 : la masse volumique absolue des matériaux utilisés

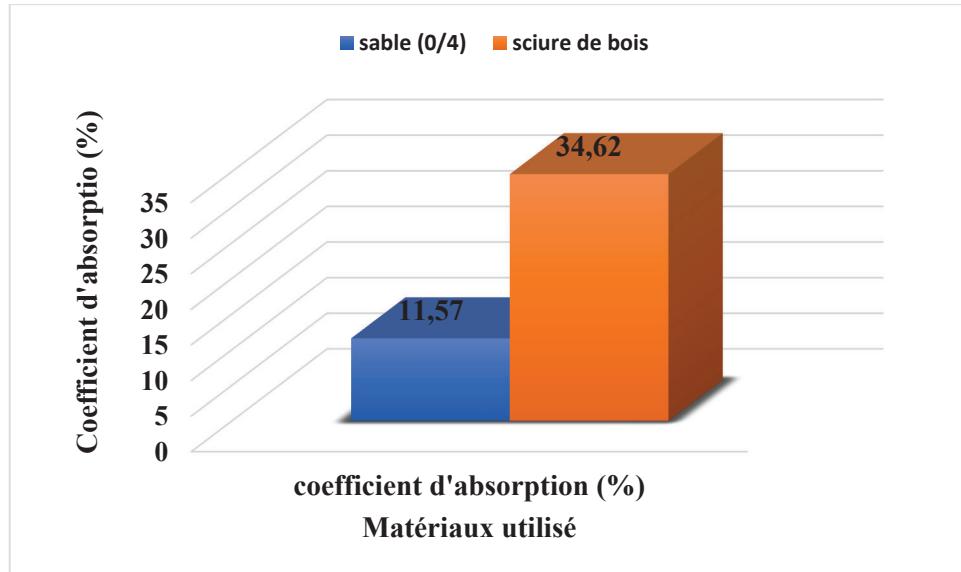


Figure III.4 : essais de coefficient d'absorption des matériaux utilisé

 **Commentaire :**

Les résultats indiquent que la différence significative des coefficients d'absorption met en évidence les propriétés physiques distinctives de la sciure et du sable. La nature poreuse et fibreuse de la sciure de bois la rend plus absorbante que la composition plus dense et moins poreuse du sable, pour diverses applications telles que l'absorption acoustique ou la rétention de liquide.

III. Caractérisation du béton frais :

III.1. Essais de maniabilité :

Les six formules mentionnées dans le tableau ont subi plusieurs tests pour analyser leur ouvrabilité et leurs caractéristiques en état frais.

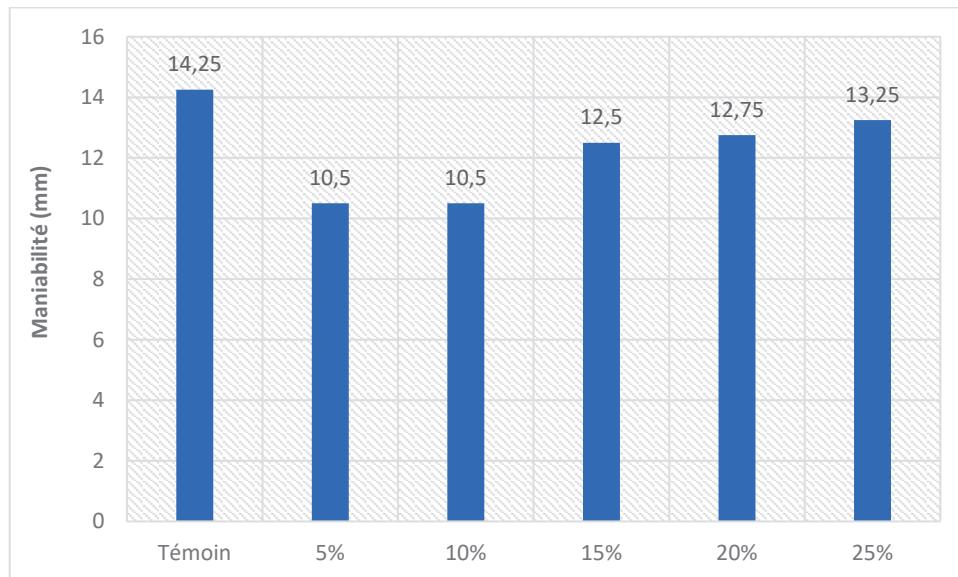


Figure III.5: Résultat d'essai d'étalement (maniabilité)

Commentaire :

La figure III.5 présente les résultats d'un essai de diffusion (essai de diffusion) pour différents mélanges contenant des proportions variables de sciure (SC) afin d'évaluer l'effet de cet ajout sur l'ouvrabilité du béton.

Nous constatons que l'échantillon de référence (Témoin), exempt de sciure, a enregistré le taux de diffusion le plus élevé, soit 14,25 mm, reflétant une ouvrabilité élevée lorsque la sciure était ajoutée à 5 % et 10 %. Le taux de diffusion a diminué significativement à 10,5 mm, indiquant un effet négatif de la sciure sur l'ouvrabilité à ces proportions. Cette diminution peut s'expliquer par la forte capacité d'absorption d'eau de la sciure, ainsi que par sa granulométrie et sa légèreté, qui augmentent la viscosité de la pâte de ciment et limitent son écoulement. À partir de 15 %, la dispersion s'améliore progressivement, atteignant 12,5 mm à 15 %, puis 12,75 mm à 20 %, et enfin 13,25 mm à 25 %. Cette amélioration peut être attribuée à un équilibre entre la teneur en eau disponible et la fraction volumique de sciure dans le mélange, ce qui conduit à une meilleure répartition granulaire au sein de la pâte et à une réduction du frottement interne.

IV.2. Résultats des essais sur l'état durci :

IV.2.1 La masse volumique :

L'évolution du la masse volumique des 06 formulations, est donnée par le tableau III.6

L'histogramme de la (figure III.6) montre que le poids volumique à l'âge de 7 jours du béton de béton de sable léger est clairement très inférieure à celle du béton témoin à l'âge de 14 et 28 jours.

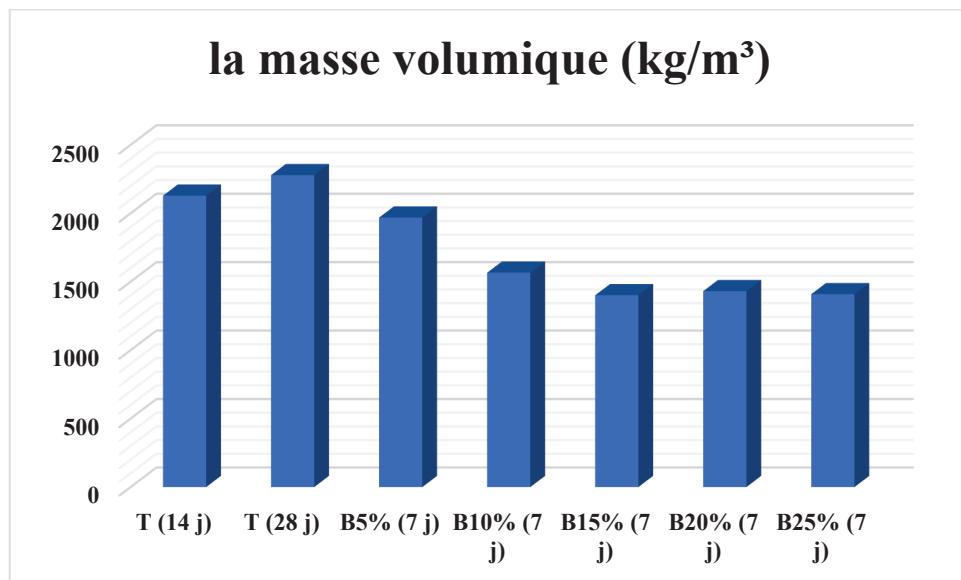


Figure III.6 : Résultat d'essai du la masse volumique totale des éprouvettes

Commentaire :

Ces résultats montrent que les valeurs de masse volumique diminuent en fonction du taux % de remplacement de sable avec la sciure de bois et de l'agent moussant et atteignent des valeurs faibles conduisant à classer le mélange comme béton ultra léger.

IV.2. Détermination de la vitesse de propagation du son (ultrason) :

La mesure de la vitesse d'impulsion du son permet d'avoir une idée sur la compacité du matériau étudié.

Nous avons testé 03 échantillons dans chaque formulation (06) et nous présentons sur le tableau suivant les valeurs moyennes.

Tableau III.5 : Essai ultrason des éprouvettes

TYPE DE Béton	Temps (μs)	Vitesse (m/s)
Témoin (14j)	45.6	3990
Témoin (28j)	46.1	3810
BS5%SC	45.6	3600
BS10%SC	57.5	2990
BS15%SC	57.6	2900
BS20%SC	58.5	2940
BS25%SC	65.1	2520

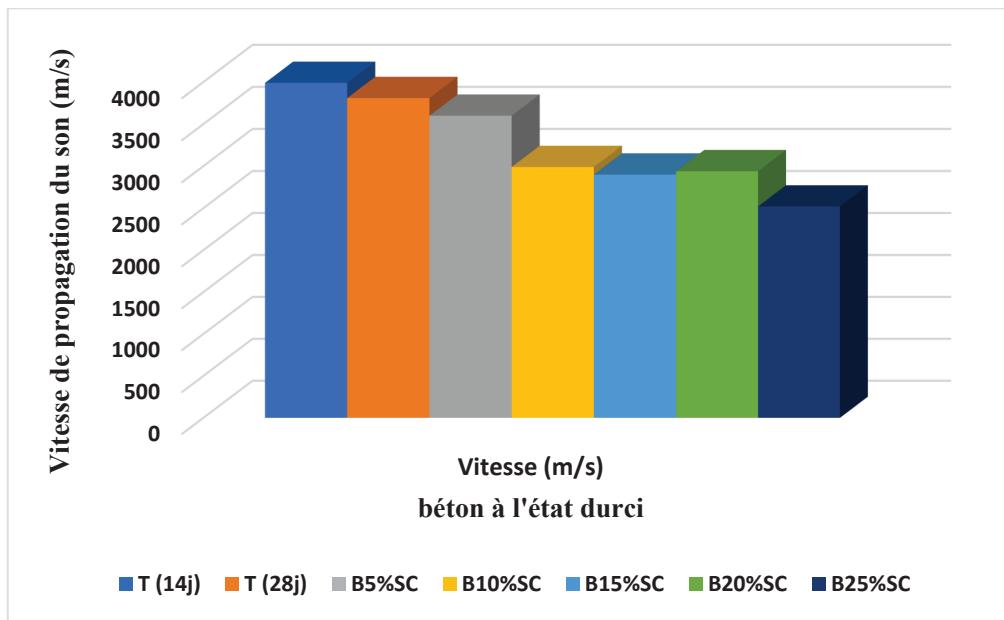


Figure III.7 : essai d'ultrason (vitesse propagation du son) des éprouvettes

Commentaire :

La (figure III.7) montre les résultats de mesure de la vitesse de propagation du son à travers les bétons élaborés. Nous observons que la substitution de sable avec le pourcentage de sciure de bois diminue significativement les vitesses de propagation du son pour le béton de sable léger (avec sciure de bois) par rapport au béton témoin. Ce résultat confirme l'apport des sciures de bois dans la création de la porosité fermée et formation d'un béton léger

III.2.3 Absorption par immersion totale :

Après conservation dans l'eau pendant 28 jours, les éprouvettes sont extraites de l'eau. Après leurs séchages jusqu'à masse constante puis leurs émergents dans l'eau pendant 48 h.

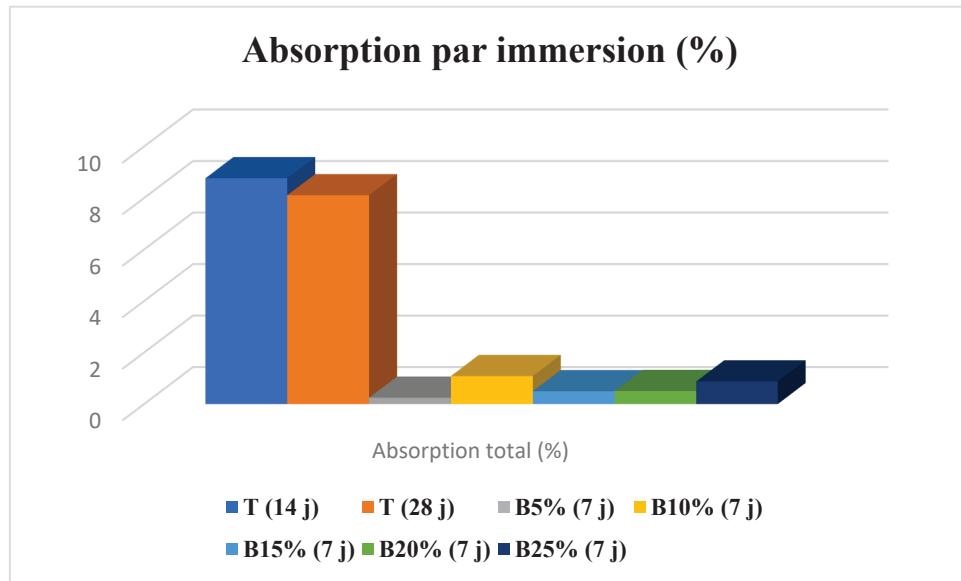


Figure III.8 : Résultats d'absorption d'eau par immersion totale

Les résultats du tableau montrent que les échantillons témoins présentent des taux d'absorption élevés (8.77 % à 14j et 8.11 % à 28j), indiquant une amélioration de la compacité avec le temps. En revanche, les bétons contenant des sciures de bois présentent des absorptions nettement plus faibles, notamment 0.25 % pour B5 %SC, traduisant une meilleure compacité et durabilité.

Toutefois, une légère augmentation de l'absorption est observée à partir de B15 %SC jusqu'à B25 %SC (0.88 %), ce qui suggère qu'un excès de substitution peut diminuer l'efficacité du liant. Ainsi, des taux modérés de SC (jusqu'à 10-15 %) semblent offrir un bon compromis entre performance et durabilité, réduisant significativement l'absorption d'eau par rapport aux bétons de référence.

III.2.4 Pert de masse :

La figure II.9 montre l'évolution de la masse relative d'échantillons de béton contenant différentes proportions de sciure après exposition à un milieu agressif pendant une période donnée. Les résultats montrent que tous les échantillons ont enregistré une augmentation de masse, principalement due à l'absorption d'eau ou de solution agressive, due à la forte porosité associée à la présence de sciure dans le mélange.

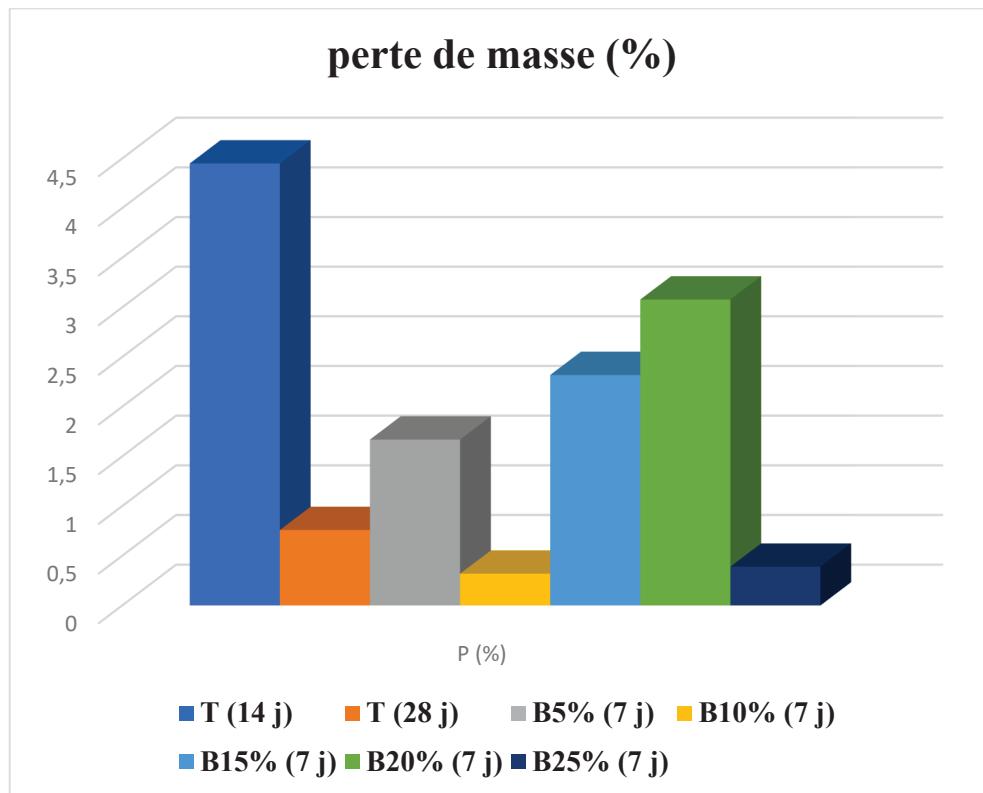


Figure III.9 : perte de masse des éprouvettes après milieu agressif

Les résultats montrent que l'échantillon de référence, mûri pendant 14 jours (T 14 j), a enregistré le pourcentage d'augmentation le plus élevé, reflétant un affaiblissement de la microstructure à ce stade, tandis que l'échantillon mûri pendant 28 jours (T 28 j) a présenté l'absorption la plus faible, soulignant le rôle du mûrissement dans l'amélioration de la cohésion interne du béton.

Pour les échantillons contenant de la sciure à des pourcentages variables (de 5 % à 25 %), une variation de l'absorption a été observée :

Les échantillons contenant 10 % et 25 % de sciure ont enregistré les plus faibles augmentations de masse, ce qui pourrait indiquer la formation d'une structure plus stable à ces pourcentages, probablement en raison d'une distribution plus homogène de la sciure ou d'une meilleure interaction intergranulaire.

En revanche, l'échantillon contenant 20 % de sciure a présenté la plus forte augmentation après l'échantillon de référence, indiquant que ce pourcentage a entraîné une augmentation significative de la porosité et, par conséquent, de l'absorption.

Le ratio de 5% a montré un comportement moyen, ce qui peut s'expliquer par le fait que la petite quantité de sciure n'était pas suffisante pour avoir un effet tangible dans l'amélioration ou la détérioration de la structure interne.

IV. 3 Essais de résistance :

1. Compression :

Le but de cet essai est de déterminer la résistance de béton à l'âge de 7, 14 et 28 jours.

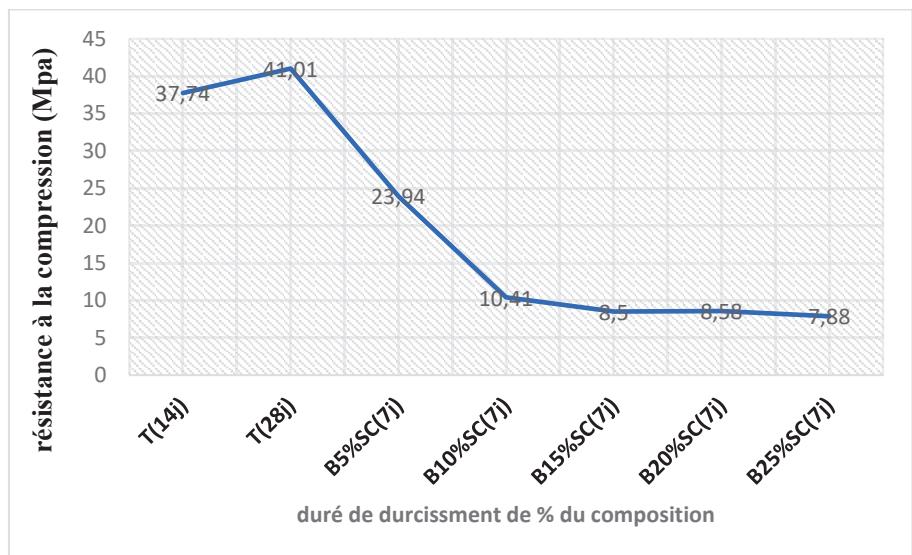


Figure III.10 : essai de la résistance à la compression des éprouvettes

2. Traction par Flexion :

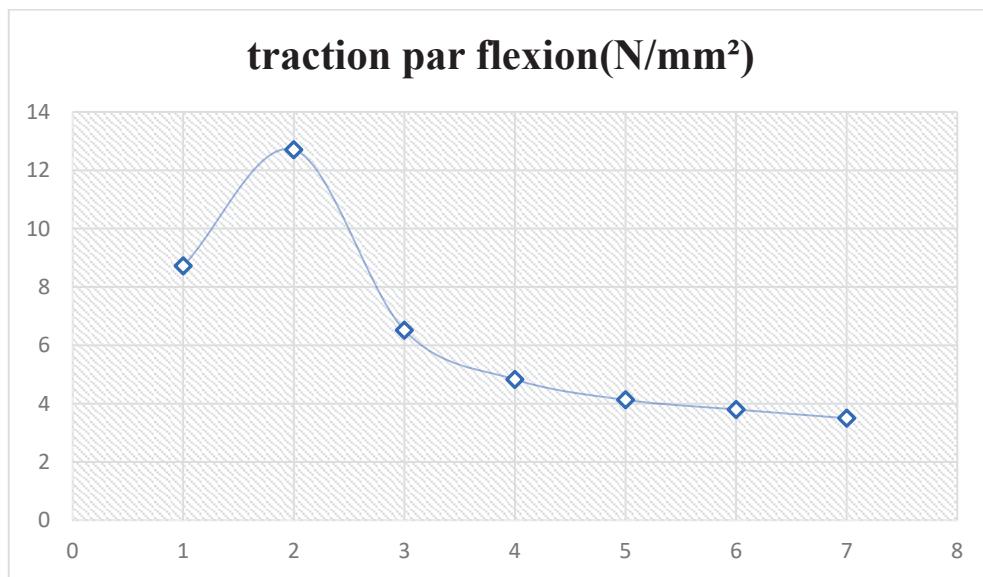


Figure III.11 : essai de résistance à la traction par flexion

[Ré] Résultats de la résistance à la compression :

- Les données chiffrées présentées illustrent les résistances à la compression et à la traction en flexion pour deux types de béton : un béton témoin et un béton léger formulé à base de sable, intégrant des proportions spécifiques de sciure de bois. Il est clairement

établi que l'incorporation de sciure de bois entraîne une diminution significative de la résistance du matériau, proportionnellement à la quantité ajoutée. Plus précisément, le béton léger contenant de la sciure présente une résistance à la compression et à la flexion plus faible que le béton traditionnel sans sciure.

- Cette constatation souligne l'influence majeure de la sciure de bois sur les caractéristiques mécaniques du béton. Bien que l'intention soit de créer un béton léger, cette légèreté a pour conséquence de réduire la résistance structurelle.

III.4 Retrait :

Evolution du retrait du béton à base de sable modifié avec différentes proportions de sciure de bois (BSSC), par rapport au mélange témoin, sur une période de 14 jours.

temps(jours)	1 j ($\mu\text{m}/\text{m}$)	2 j ($\mu\text{m}/\text{m}$)	3 j ($\mu\text{m}/\text{m}$)	4 j ($\mu\text{m}/\text{m}$)	5 j ($\mu\text{m}/\text{m}$)	6 j ($\mu\text{m}/\text{m}$)	7 j ($\mu\text{m}/\text{m}$)
témoin	-59275	1843,75	-1368,75	1375	87,5	37,5	268,75
5%	-56025	187,5	-118,75	100	43,75	0	100
10%	-56212,5	125	206,25	62,5	-137,5	31,25	218,75
15%	-57331,25	1681,25	31,25	-150	175	481,25	-625
20%	-57281,25	1331,25	-175	-1537,57	1550	-150	475
25%	-55396,25	-56,25	-1631,25	1293,75	437,5	-906,25	512,5

temps(jours)	8 j	9 j	10 j	11 j	12 j	13 j	14 j
témoin	-787,5	-1000	1631,25	100	-18,75	-18,75	118,75
5%	-2493,75	2087,5	518,75	50	-12,5	-25	-37,5
10%	-518,75	-1075	1700	112,5	-12,5	-25	-50
15%	406,25	-706,25	2406,25	275	-6,25	-50	-25
20%	-587,5	-1112,5	1815,625	625	-18,75	-62,5	-56,25
25%	-556,25	-1243,75	1756,25	15637,5	-15431,25	-50	-12,5

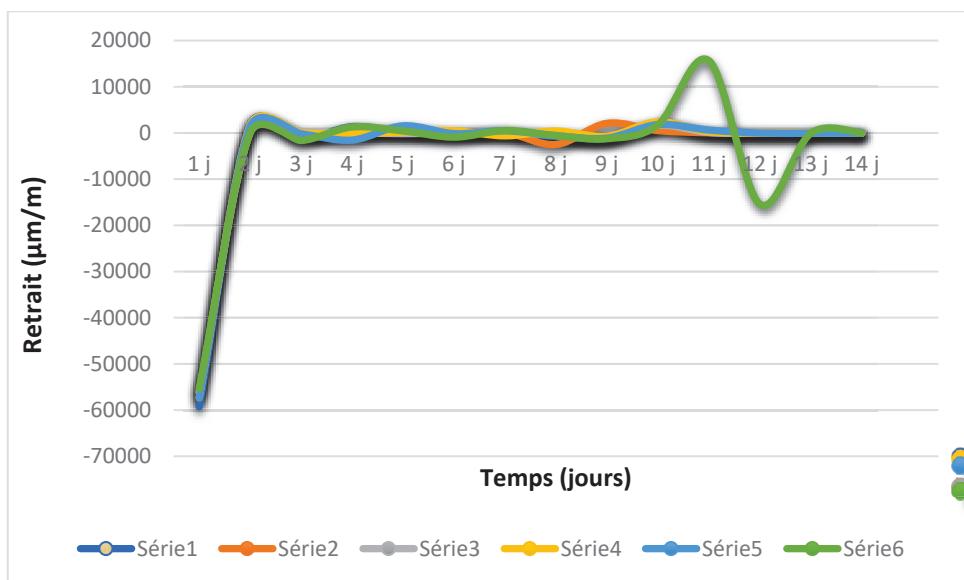


Figure III.12 : Evolution du retrait du BSSC% et témoin en fonction de l'âge.

Série1 : Témoin ; Série2 :5% ; Série3 :10% ; Série4 :15% ; Série5 :20% ; Série6 :25%

Les résultats présentés dans la figure III.15 montrent que toutes les formulations de béton contenant de la sciure de bois (BSSC) subissent un retrait important dès le premier jour. Ce comportement est principalement dû au forte capacité d'absorption d'eau de la sciure, qui accélère le dessèchement et réduit la quantité d'eau disponible pour l'hydratation du ciment. De plus, la nature organique de la sciure affaiblit la cohésion interne et augmente la porosité, ce qui aggrave le phénomène de retrait.

Pour des taux faibles à modérés (5 % à 20 %), le retrait reste relativement stable. En revanche, à un taux élevé (25 %), des fluctuations anormales sont observées, traduisant un seuil critique au-delà duquel la stabilité dimensionnelle du béton est compromise.

Ainsi, le retrait observé dans le BSSC est principalement attribué à :

- L'absorption élevée de l'eau,
- La faible cohésion structurelle,
- La possible dégradation des composants organiques

Conclusion :

Dans ce chapitre, on a exposé tous les résultats des essais réalisés qui visent formuler un certain nombre de bétons de sable caractérisés par leur dosage de sciure de bois (légers) nécessaire afin d'avoir une faible masse volumique.

Les conclusions suivantes ont été tirées des résultats que nous avons obtenus : L'accroissement de la proportion de granulats légers affecte négativement la maniabilité des mélanges, établissant ainsi une relation inversement proportionnelle. la masse volumique diminue en fonction du pourcentage de sciure de bois légers et c'est le but recherché dans cette étude. Un béton de faible masse volumique ne peut être obtenu qu'en utilisant une proportion importante de sciure de bois léger.

- ✓ Le béton léger est un béton de faibles résistances à la compression et à la flexion
- ✓ La baisse de la résistance à la flexion est moins importante que celle à la compression.

Les sciures de bois légers ainsi que l'Agent moussant ont augmenté les propriétés isolantes du béton en diminuant la vitesse de propagation des impulsions, nous pouvons expliquer ce comportement vis-à-vis de la structure cellulaire des granulats artificiels, qui emprisonnent de l'air sous forme de petits volumes et qui représente un isolant pour le son.

Conclusion générale :

En conclusion de ce travail, l'incorporation de la sciure de bois dans le béton de sable apparaît comme une solution prometteuse dans le cadre de la construction durable. Cette approche permet de valoriser les déchets de bois tout en produisant un matériau de construction à faible densité et à meilleures performances thermiques.

Les essais réalisés ont montré qu'une augmentation de la teneur en sciure améliore l'isolation thermique, mais entraîne en contrepartie une réduction notable de la résistance mécanique. Il est donc nécessaire de trouver un équilibre optimal entre confort thermique et performance structurelle.

Les résultats ont également révélé qu'au-delà d'un taux d'environ 20 % de sciure, le comportement du béton devient instable, notamment en termes de retrait. Par conséquent, le traitement préalable de la sciure (séchage, lavage, neutralisation) s'avère essentiel pour assurer une homogénéité du mélange et des performances fiables.

Ce travail souligne également l'intérêt de recourir à des sources d'énergie renouvelables, comme l'énergie solaire pour le mûrissement, en particulier dans les régions à fort ensoleillement comme l'Algérie. Cette méthode offre une alternative écologique et économique pour améliorer la résistance précoce du béton.

Enfin, nous espérons que cette étude servira de base à des recherches futures plus approfondies, portant sur la durabilité à long terme, l'impact environnemental global, ainsi que la viabilité économique de ce type de béton léger innovant.

Référence

- [1] Bouaichaoui Messaoud et Ben Aïssa Khadra (Formulation d'un béton de sable léger à base de copeaux de bois traité avec l'argile) Mémoire de Master, juin 2019
- [2] Dupas G., Mugeot D., Cali V., Etude de la durabilité des BAP et des BHP soumis à des attaques extérieures, Projet de fin d'études 5ème Année Génie Civil, Ecole Polytechnique de l'Université d'Orléans, juin 2008.
- [3] SABLOCRETE : Béton de sable, caractéristiques et pratiques d'utilisation, presses de l'école nationale des ponts et chaussées (France) 230 pp, (1994).
- [4] THESE DE DOCTORAT EN GENIE CIVIL par : M me MOHELLEBI Samira Née BOUAZIZ Maître assistante Classe A (Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hygro-mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites)
- [5] djakam Imane :mémoire élaboration d'un béton léger à partir des matériaux locaux
- [6] THESE DE DOCTORAT EN GENIE CIVIL par : M me MOHELLEBI Samira Née BOUAZIZ Maître assistante Classe A (Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hygro-mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites)
- [7] mémoire zekri safa et Bouchra kouidi 2019
- [8] <https://fr.wikipedia.org/wiki/ciment-portland>
- [9] infociments.fr/glossaire/eau-de-gâchage
- [10] [https://www.infociments.fr/bétons/adjuvants](https://www.infociments.fr/b%C3%A9tons/adjuvants)
- [11] G. DREUX & J. FESTA : « Nouveau guide du béton et de ses constituants». 8ème Édition. Eyrolles. Mai 1998
- [12] YANG Ke, "Caractérisation Du Comportement Mécanique Des Bétons De Granulats Légers Expérience Et Modélisation", Thèse De Doctorat En Génie Civil, De L'université De Gergy-Pontoise, 2008.
- [13] Benmansour, H. (2017). *Effets du traitement thermique sur la résistance initiale des bétons*. Mémoire de Master, Université Constantine 1.
- [14] Khelifa, M. (2020). *Modélisation de la cure thermique des bétons à haute performance*. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar – Annaba.

- [15] Ait-Mokhtar, A., Bellegou, H., & Amiri, O. (2015). Utilisation des énergies renouvelables dans la construction durable : application à la cure solaire du béton. *Matériaux & Techniques*, 103(6). <https://doi.org/10.1051/matech/2015022>.
- [16] REN21. (2023). *Renewables Global Status Report 2023*. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. <https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>
- [17] Owusu, P. A., & Asumadu-Sarkodie, S. (2016). A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, 3(1), 1167990. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1167990>
- [18] Ritchie, H., & Roser, M. (2020). *Energy*. Our World in Data. <https://ourworldindata.org/energy>
- [19] Canadian Standards Association (CSA). (2009). *Precast concrete – Materials and construction* (CSA A23.4-09). CSA Group. /Taha, M. M., & Yusoff, M. (2020). Advantages and challenges of solar energy in buildings: A review. *Energy Reports*, 6, 846–861. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.11.238>
- [20] ENPC – École Nationale des Ponts et Chaussées. (1994). *Bétons de sable : Caractéristiques et pratiques d'utilisation* [Rapport SABLOCRETE]. Presses de l'ENPC.
- [21] Université de Batna 2. (2018). *Effet du traitement thermique naturel sur la résistance des bétons légers* [Thèse de doctorat, Faculté de Technologie.]
- [22] Université de Blida 1. (2020). *Optimisation du durcissement solaire des bétons préfabriqués* [Mémoire de Master, Département de Génie Civil].
- [23] Lea, F. M. (1970). *The chemistry of cement and concrete* (3rd ed.). Edward Arnold.
- [24] ACI Committee 517. (1992). *Accelerated curing of concrete using heat and steam* (ACI 517R-90). American Concrete Institute.
- [25] Canadian Standards Association (CSA). (2009). *Precast concrete – Materials and construction* (CSA A23.4-09). CSA Group.
- [26] Université de Batna 2. (2018). *Effet du traitement thermique naturel sur la résistance des bétons légers* [Thèse de doctorat, Faculté de Technologie].
- [27] PROJET NATIONAL DE RECHERCHE/DEVELOPPEMENT : BETONS DE SABLE Caractéristiques et pratique d'utilisation page 31,32 ,36,37,38 ,39.

[28] ACHOURA Djamel : Contribution l'étude de la formulation et de la caractérisation des bétons de sable à base de laitiers de haut fourneaux d'EL-HADJAR, thèse de doctorat de génie civil ,175p, (2005).

[29] " Béton léger", VUB – Matériaux de construction d'après-guerre,

<http://www.materiauxdeconstructiondapresguerre.be/material/lightweight-concrete>

[30] BENKHALFA: «contribution a l'étude des bétons légers d'argile expansée pour des éléments armés préfabriqués».Thèse de magistère. Université d'Annaba. 1988.

[31] : M. VIRLOGEUX, « Généralités sur les caractères des bétons légers », M. Arnould and M. Virlogeux, editors, Granulats et bétons légers; bilan de 10 ans de recherche, Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, pages 111-246, Paris, 1986.

[32] DJAKAM Imane « elaboration d'un béton léger à partir des matériaux locaux » université Mohamed Boudiaf –M'sila 2015/2016

[33] HERIHIRI OUIDED « Formulation et Caractérisation des Bétons Légers. »université Mohamed Kheider –BISKRA 2010

[34] MEMOIRE Formulation et Caractérisation des Bétons Légers par HERIHIRI OUIDED 12 / 07 / 2010

[35] MEMOIRE Elaboration d'un béton léger à partir des matériaux locaux DJAKAM Imane 2015/2016. Université Mohamed Boudiaf - M'sila

[36] https://www.researchgate.net/figure/Representation-schematique-des-differents-types-de-beton-leger-Dapres-SHORT-ET_fig4_280235557

[37] Daniel Montharry (Auteur), Michel Platzer, La technique du bâtiment tous corps d'état Relié, Éditions du Moniteur, 201

[38] <https://jardinage.lemonde.fr/dossier-2286-beton-cellulaire.html>

[39] <https://frwikibedia.org/wiki/béton-de-granulatsléger>

(Selon la norme NF EN ISO 9229 SEPTEMBRE 2007 , ISOLATION THERMIQUE)

[40] <https://benton-guide.com/beton/beton-leger-proprietes-types-fabrication-application.html>

[41] <https://kingmateriaux.com/sable-de-carriere/>

[42] Madani Bederina 'caractérisation mécanique et physique des bétons de sable à base de déchets de bois ' thèse de doctorat

[43] <https://fr.wikipedia.org/wiki/Ciment>

Les Normes :

EN 934-2 : Les adjuvants

NF EN 933-2 : Analyse granulométrique par tamisage

EN 933-8 : Essai d'équivalent de sable

NF P : 18-554 et NF P 18-555 et NA 255 : Masses volumiques des granulats

EN 196-3 : Essai de consistance de pâte ciment

EN 196-3 : Essai de prise de la pâte de ciment

NF P 18-554 ET NF P 18-555 : Coefficient d'Absorption des granulats

NF P 18-452 et P 15-437 : Maniabilité (essais d'étalement)

EN 12504-4 : Le Vitesse Propagation des ondes par ultrason

NF EN 196-1 : Essai de résistance à la compression et traction des éprouvettes

NA 428 : 1989 Détermination de la résistance à la flexion des éprouvettes

NF P 15-433 : Retrait et gonflement

Annexe



SPA BISKRIA CIMENT



FICHE TECHNIQUE

CEM I 42.5R CIMENT PORTLAND

Ciment portland, pour les bétons hautes performances et a une résistance rapide à court terme, destiné aux domaines où les délais de décoffrage sont courts, il est recommandé particulièrement pour le bétonnage par temps froid.

CEM I 42.5R:

Conforme à la norme Algérienne (NA442-2013).



DOMAINES D'APPLICATION

Un ciment pour tous vos travaux de constructions de haute résistance a jeune âge, il est aussi recommandé pour les utilisations suivantes:

- ▶ Produits en bétons qui demandent un durcissement rapide.
- ▶ Le bétonnage dans des coffrages coulissant, surtout en période hivernale.
- ▶ Béton résistant au gel en présence de sels de dé verglaçage.
- ▶ Tabliers de ponts.
- ▶ Béton pompé.
- ▶ Béton projeté



APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- ▶ Béton armé à haute résistance.
- ▶ Béton autoplâtant.



Un produit conforme aux normes et spécifications de l'Union européenne. Le marquage CE est une exigence légale pour certains produits sur le marché de l'UE.



Produit conçu et fabriqué sous un Système de Management de la Qualité certifié ISO 9001 par AFAQ-AFNOR.





FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec 0/5)	Gravillons (sec) 8/15mm - 15/25mm	Eau (litres)
Dosage pour béton	50k X1	X7	+ X5 + X4	25 L
	Ciment	Sable Correcteur 0/1mm	Sable (sec) 0/4mm	Eau (litres)
Mortier de briquetage	50k X1	X6	+ X9	35 L
Mortier de finitions	50k X1	X9	+ X6	35 L

Remarque: un bidon =10 litres



CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

Analyses chimiques (%)	Valeur	Résistance à la compression	Valeur
Perte au feu	26 – 37	2 jours (MPa)	20 – 29
Teneur en sulfates (SO ₃)	2.2 – 2.8	28 jours (MPa)	42.5 – 52.5
Teneur en Oxyde de Magnésium (MgO)	1.7 – 2.8		
Teneur en Chlorures (Cl ⁻)	0.03 – 0.07		
Composition Potentielle du Clinker (Selon Bogue) (%)	Valeur		
C3S	56 – 66		
C2S	5.1 – 7.2		
Propriétés physiques	Valeur		
Consistance normale (%)	25.8 – 26.4		
Expansion à chaud (mm)	0.25 – 1.0		
Temps de prise (min)	Valeur		
Début de prise	150 – 190		
Fin de prise	220 - 250		



CONSIGNES DE SÉCURITÉ

PROTÉGEZ VOTRE PEAU:

Portez les équipements adapté dans vos chantiers:



casques



lunettes



gants



genouillères



chaussures



vêtements de sécurité

Djar Belahrache, Branis, Biskra, Algérie

Tel: (+213) 0560 753 424

Fax: (+213) 033 62 73 92

✉ www.biskriaciment-dz.com

✉ contact@biskriaciment-dz.com



010829

NOTICE PRODUIT

SikaLatex® Pro

Résine d'accrochage haute performance à mélanger à l'eau de gâchage des mortiers

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

SikaLatex® Pro est une dispersion aqueuse de résines synthétiques qui se présente sous la forme d'un liquide laiteux. Il s'ajoute directement à l'eau de gâchage des mortiers de ciment.

DOMAINES D'APPLICATION

- Enduits et chapes
- Barbotines pour accrochage des enduits et chapes de ciment
- Enduits imperméables pour réservoirs et piscines d'eau douce et d'eau de mer
- Chapes de haute résistance à l'usure même en présence d'eau: seuils sous vanne, radiers soumis à des efforts d'érosion
- Jointolements
- Joints de maçonnerie durables et étanches
- Joints de prédalles et de panneaux préfabriqués
- Ragréages et réparations**
- Reprofilages et réparations d'épaufures de béton, béton armé ou précontraint
- Travaux de finition de couverture
- Embarrures et crêtes de tuiles faîtières
- Raccords d'enduits des maçonneries et solins de rives
- Enduits de souches et solins

Collages et durcissement des plâtres

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

Reprises de bétonnage

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

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

- améliore fortement l'adhérence du mortier sur tout support, même lisse (béton, pierre, brique, métaux ferreux, verre et céramique),
- rend le mortier plastique et facile à mettre en oeuvre,
- augmente les résistances en traction et en flexion,
- limite le risque de fissuration,
- améliore l'imperméabilisation,
- améliore la dureté de surface,
- améliore la résistance à l'usure et réduit les poussières.

SikaLatex® Pro améliore la résistance des mortiers, même en milieu humide ou en immersion.

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

DESCRIPTION DU PRODUIT

Conditionnement	Bidon de 2 Kg , 5 Kg et 10 Kg. Fût de 210 kg
Durée de Conservation	18 mois dans son emballage d'origine intact et non entamé
Conditions de Stockage	A l'abri du gel et d'une chaleur excessive
Aspect / Couleur	Liquide blanc laiteux
Densité	environ 1

Notice produit
SikaLatex® Pro
Février 2024, Version 01.06
0201010100100000E2

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Consommation	En couche d'accrochage : 0,120 l/m ² et mm d'épaisseur En mortier : 0,600 l/m ² et cm d'épaisseur
---------------------	--

VALEURS DE BASE

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

LIMITATIONS

- Ne pas utiliser en dessous d'une température de + 5°C
- Le SikaLatex® Pro ne doit pas être ajouté pur au ciment sec.
- Toujours veiller à utiliser le minimum de volume d'eau en début de gâchage puis, ajuster la quantité d'eau à la fin du mélange afin d'obtenir la consistance désirée.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

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

INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

QUALITÉ DU SUPPORT / PRÉTRAITEMENT

Ils seront sains, propres et débarrassés des parties non adhérentes.

Ils seront largement imbibés d'eau mais non ruisse- lants.

MÉLANGE

Préparation de la solution SikaLatex® Pro :

- 1 volume de SikaLatex® Pro
- 2 volumes d'eau

Préparation de la barbotine SikaLatex® Pro :

- 1 volume de ciment
- 1 volume de sable

Gâcher jusqu'à consistance crèmeuse avec la solution SikaLatex® Pro

Préparation du mortier SikaLatex® Pro :

- 1 volume de ciment
- 2 volumes de sable 0-3

Gâcher jusqu'à consistance voulue avec la solution SikaLatex® Pro

Malaxage :

- A la main comme un mortier ordinaire
- Avec une bétonnière ou un malaxeur : éviter tout malaxage prolongé.

Utiliser le mortier dès qu'il est homogène

- Le mortier peut être accéléré en ajoutant 0,5 à 1 litre de DROSPRINT

(voir notice produit) selon la température et l'effet recherché, par sac de 50 kg de ciment

MÉTHODE D'APPLICATION / Outils

Enduits

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

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

Chapes

Pour obtenir une bonne adhérence des chapes et micro-chapes :

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

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

- procéder comme ci-dessus pour la barbotine,
- sur la barbotine encore fraîche et poisseuse, exécuter une chape avec un mortier SikaLatex® Pro gâché avec la solution spéciale suivante : 1 volume de SikaLatex® Pro + 3 volumes d'eau
- protéger contre la dessication en pulvérisant sur la chape la solution SikaLatex® Pro dès le passage au mat du mortier, puis en humidifiant la chape après 24 heures.

Joint de maçonnerie

Pour réaliser ou rénover des joints apparents durables, procéder ainsi :

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

Ragrèages - Réparations

Pour procéder à des ragréages solides et nets :

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

• les trous laissés par les broches d'écartement des

Notice produit

SikaLatex® Pro

Février 2024, Version 03.06

020101010010000187

2 / 3

BUILDING TRUST



coffrages seront obturés efficacement et de façon durable avec un mortier au SikaLatex® Pro ou, par des carottes préfabriquées scellées à l'aide d'une barbotine au SikaLatex® Pro.

Travaux de finition en couverture : joints de solins, scellement de tuiles de faïte

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

Collages des plâtres - Plâtres imperméables

Pour traiter les plâtres soumis à l'humidité :

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

Reprises de bétonnage

Pour obtenir une bonne liaison du béton frais sur béton durci et prévenir les défauts d'imperméabilisation de la surface de reprise :

- laver au jet d'eau sous pression le béton de la surface de reprise,
- préparer un mortier au SikaLatex® Pro gâché à consistance plastique,
- répandre le mortier au SikaLatex® Pro sur la surface humide en couche de 2 à 3 centimètres,
- couler aussitôt le béton,
- vibrer soigneusement la zone de reprise pour une bonne interénétration du mortier et du béton,
- utiliser une hauteur de banches compatible avec les moyens de serrages utilisés sur le chantier.

NETTOYAGE DES OUTILS

A l'eau immédiatement après usage. Le produit durci ne peut être enlevé que mécaniquement.

RESTRICTIONS LOCALES

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

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés

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

Sika El Djazaïr SPA

08 route de Larbaâ
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 23 88 89 92 00
Fax: 0 23 88 89 92 08
dia.sika.com



SikaLatex®-m-f-02-(02-2024)-1-6.pdf

Notice produit

NOTICE PRODUIT

Sika® Plastiment® BV-40

Plastifiant/Réducteur d'eau pour hautes résistances mécaniques

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® Plastiment® BV-40 est un plastifiant réducteur d'eau énergique qui :

- augmente la compacité du béton, entraînant ainsi une amélioration des résistances mécaniques et de l'imperméabilité
- facilite la mise en place du béton
- permet éventuellement de réduire le dosage en ciment
- permet d'obtenir un retard de début de prise plus ou moins important en augmentant le dosage normal d'utilisation de béton à performances élevées, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci

DOMAINES D'APPLICATION

Augmentation des résistances mécaniques

Sika® Plastiment® BV-40 permet de réduire l'eau de gâchage d'environ 10 % sans diminuer la maniabilité du témoin. Des essais sont indispensables pour déterminer la quantité d'eau de gâchage nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée. La compacité et l'imperméabilité sont améliorées. Les résistances mécaniques à long terme sont augmentées en moyenne de 15 à 40 %.

Sika® Plastiment® BV-40 est donc particulièrement indiqué pour :

- les bétons armés à hautes performances
- les bétons précontraints
- les bétons préfabriqués étuvés

Réduction du dosage en ciment

Sika® Plastiment® BV-40 permet de réduire le dosage en ciment de l'ordre de 10% en conservant les résistances mécaniques. Il est utilisé dans ce cas en B.P.E. pour la confection de béton à la résistance.

Amélioration de la maniabilité

Sika® Plastiment® BV-40 permet d'améliorer la maniabilité à teneur en eau constante, tout en apportant une augmentation des résistances à long terme de 10% environ. Il est donc utilisé pour la confection de pièces élancées, fortement ferraillées et dans le cas de

bétons pompés.

Augmentation du délai de mise en oeuvre

À dosage élevé, le Sika® Plastiment® BV-40 augmente le temps de prise du béton. La température jouant un rôle important, il est bon de procéder à des essais. A titre indicatif :

- à 20°C, on obtient un retard de prise de 3 à 4 heures environ avec 0,6 %
 - à 5°C, le même dosage provoque un retard de prise de l'ordre de 8 h
- Sika® Plastiment® BV-40 est compatible avec nos entraîneurs d'air Sika® Aer et Sika® Aer-5. Cette combinaison conduit à :
- l'amélioration des résistances aux cycles gel-dégel
 - la possibilité de coulage en continu (béton extrudé, béton routier)
 - l'amélioration des résistances de tous bétons situés dans les zones de marnage

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® Plastiment® BV-40, grâce à ses propriétés physico-chimiques permet :

Sur béton frais :

- d'augmenter considérablement la maniabilité même en réduisant l'eau de gâchage
- de disperser le ciment dans la masse
- d'améliorer l'adhérence béton-armatures
- de s'opposer à la ségrégation
- d'améliorer la thixotropie
- d'étaler éventuellement la prise

Sur béton durci :

- d'augmenter les résistances mécaniques,
 - d'accroître la compacité
 - d'augmenter l'imperméabilité
 - de diminuer le retrait et le fluage
- Sika® Plastiment® BV-40 est compatible avec tous les ciments et en particulier le ciment fondu.

AGRÉMENTS / NORMES

- Caractéristiques sur béton frais, résistances méca-

Notice produit

Sika® Plastiment® BV-40
Juillet 2023, Version 01.03
021302011000000717

- niques à 7 et 28 jours, perméabilité, capillarité : CE-MEREX - PV n° 363. 1.014 du 11.02.72.
- Résistances mécaniques à 7, 28, 90 et 365 jours : EM-PA ZURICH - PV n° 59239/32 du 10.02.69
 - Conformité à la norme ASTM C 494 type A : TESWELL Laboratoires (USA) - PV n° IZ-15 du 23.08.79

DESCRIPTION DU PRODUIT

Base chimique	Solution aqueuse de lignosulfonates modifiés
Conditionnement	Fût de 250 kg Cubi de 1100 kg
Durée de Conservation	Dans son emballage d'origine intact, le produit se conserve 3 ans
Conditions de Stockage	Sika® Plastiment® BV-40 gèle à - 5°C environ. En cas de gel prolongé et intense, vérifier s'il n'a pas été déstabilisé.
Aspect / Couleur	Brun foncé
Densité	1,180 ± 0,025
Extrait Sec	36,6 à 40,4 %
Valeur pH	4,5 ± 1
Teneur Totale en Ions Chlorure	< 0,1 %
Équivalent Oxyde de Sodium	≤ 2,0 %

INFORMATIONS TECHNIQUES

Instructions pour le Bétonnage	Introduire le Sika® Plastiment® BV-40 dans l'eau de gâchage.
---------------------------------------	--

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	Le dosage précis du Sika® Plastiment® BV-40 est fonction des conditions de chantier et de l'effet recherché. Plage d'utilisation recommandée : 0,3 à 1% du poids du ciment (soit 0,25 à 0,85 litre pour 100 kg de ciment). Comme retardateur: A partir de 0,5% du poids du ciment (soit 0,42 litre pour 100 kg de ciment). Son dosage exact se détermine sur chantier en procédant à quelques essais puisqu'il est fonction de la nature des composants du béton, des qualités recherchées (compacité, plasticité) et des conditions climatiques. Ne pas dépasser 1% (0,85 litre pour 100 kg de ciment) sans essai préalable : possibilité de retard de prise important.
Distribution	Introduire le Sika® Plastiment® BV-40 dans l'eau de gâchage.

VALEURS DE BASE

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

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus

récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

RESTRICTIONS LOCALES

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

INFORMATIONS LÉGALES

Notice produit
Sika® Plastiment® BV-40
août 2023, Version 01.03
021302011000000717



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

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



Notice produit
Sika® Plastiment® BV-40
Juillet 2023, Version 01.03
02130201100000717

3 / 3

SikaPlastimentBV-40-fr-D2-[07-2023]-1-3.pdf

BUILDING TRUST

