



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
جامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي  
كلية التكنولوجيا



قسم الري و الهندسة المدنية

مذكرة تخرج لنيل شهادة: ماستر أكاديمي

شعبة: الهندسة المدنية

تخصص: مواد في الهندسة المدنية

من إعداد الطلبة:

1. بن شنه سعاد

2. شطي أماني

3. كباس عاطف

تحت عنوان

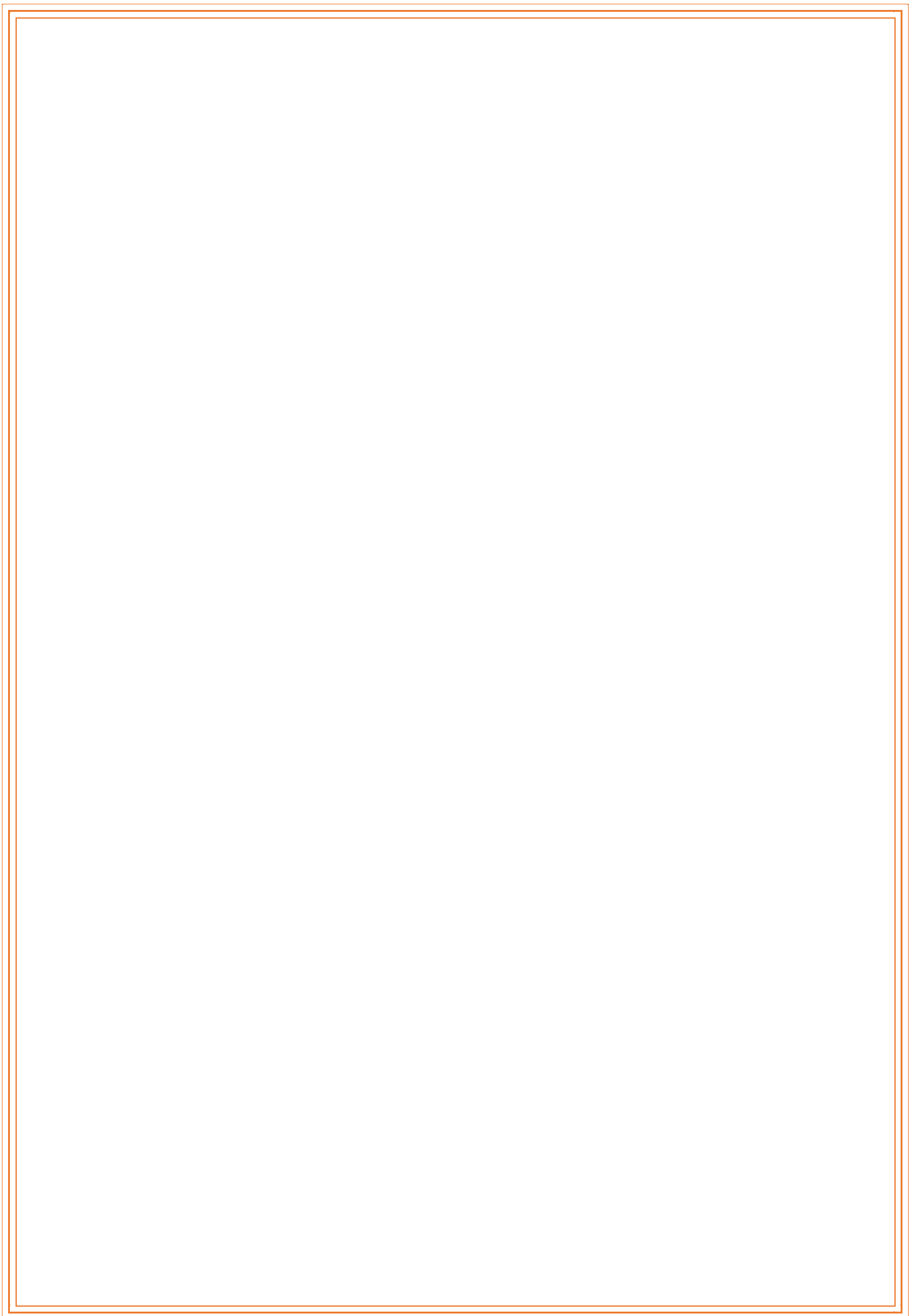
## دراسة تأثير مساحيق بقايا مواد البناء ورمل الكثبان على الخرسانة ذاتية التوضع كإضافات إسمنتية

نوقشت في: 2025/05 /27

أمام لجنة المناقشة:

رئيسا	جامعة الوادي	أستاذ محاضر ( أ )	د . جديد طارق
مناقشا	جامعة الوادي	أستاذ محاضر ( أ )	د . ماني محمد
مشرفا	جامعة الوادي	أستاذ محاضر ( أ )	د . بدادي العيد

الموسم الجامعي : 2024 / 2025



## المخلص :

تعتبر الخرسانة ذاتية التوضع تكنولوجيا حديثة و مستحدثة في الصناعة الإنشائية ، و هي خرسانة ذات قابلية تشغيل عالية للغاية بحيث تستطيع الانسياب خلال العناصر الإنشائية الكثيفة بالتسليح تحت تأثير وزنها الذاتي دون الحاجة إلى استعمال الهزاز ، و تملأ بدرجة كافية الفجوات دون حصول انفصال حبيبي لمكوناتها.يشمل هذا العمل دراسة تجريبية حول تركيبة و خصائص الخرسانة ذاتية التوضع BAP المصنوعة من بقايا مواد البناء ( الأجر،الرخام،الزجاج ،الخرسانة ) و رمال الكثبان بنسب إضافية للخرسانة و أنجزنا خلطتين بنسب مختلفة و بنفس الترتيب على النحو التالي : الخلطة I (40%، 15%، 15%، 15%، 40%) الخلطة II (25%، 25%، 25%، 25%، 15%)، و مقارنتها بالخرسانة ذاتية التوضع لدراسة سابقة . الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تثمين نفايات مواد البناء كإضافة للخرسانة ذاتية التوضع BAP ، بناء على توفير هائل لهذه المواد في الطبيعة و تقليل النفايات و للحفاظ على المواد الطبيعية ، بالإضافة إلى تحسين الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للخرسانة ذاتية التوضع ، و استخدمنا في دراستنا 100 قالباً اسطوانياً (22X11) سم لاختبارات الضغط و الموجات فوق الصوتية ، و 100 قالباً موشوري الشكل (28X7X7) سم لاختبارات الانكماش و الشد بالانحناء ، و 20 قالباً مكعباً (15X15X15) سم لاختبار النفاذية و 20 قالباً مكعباً (10X10X10) سم لاختبار امتصاص الماء بالخاصية الشعرية . و خلصت الاختبارات في هذه الدراسة بالنسبة لاختبار الموجات فوق الصوتية حققت أفضل النتائج BAP<sub>2</sub>(15%) للخلطة I و BAP'<sub>5</sub>(15%) للخلطة II اختبار الامتصاص عن طريق الخاصية الشعرية حققت أفضل النتائج BAP<sub>5</sub>(40%) للخلطة I و BAP'<sub>3</sub>(25%) للخلطة II اختبار النفاذية حققت أفضل النتائج BAP<sub>1</sub>(40%) للخلطة I و BAP'<sub>3</sub>(25%) للخلطة II و اختبار الضغط حققت أفضل النتائج BAP<sub>3</sub>(15%) للخلطة I و BAP'<sub>2</sub>(25%) للخلطة II و اختبار الشد عن طريق الانحناء حققت أفضل النتائج BAP<sub>4</sub>(40%) للخلطة I و BAP'<sub>5</sub>(15%) للخلطة II .

**الكلمة المفتاحية:** خرسانة ذاتية التوضع ,الانكماش,مقاومة الضغط ,مقاومة الشد, الامتصاص الشعري ,النفاذية.

## Résumé:

Le béton autoplaçant est une technologie moderne et innovante dans l'industrie de la construction, et c'est un béton ayant une très haute workability qui peut s'écouler à travers des éléments structuraux denses en armature sous l'effet de son propre poids sans avoir besoin d'un vibreur, remplissant suffisamment les vides sans séparation granulaire de ses composants. Ce travail comprend une étude expérimentale sur la composition et les propriétés du béton autoplaçant BAP fabriqué à partir de déchets de construction (brique, marbre, verre, béton) et de sable de dunes avec des proportions supplémentaires pour le béton, et nous avons réalisé deux mélanges avec des proportions différentes et dans le même ordre comme suit. Mélange I (40%, 15%, 15%, 15%, 40%) Mélange II (25%, 25%, 25%, 25%, 15%) et sa comparaison avec le béton auto-nivelant d'une étude antérieure. L'objectif principal de cette recherche est de valoriser les déchets de matériaux de construction en tant qu'additif pour le béton auto-nivelant BAP, basé sur l'abondance de ces matériaux dans la nature, la réduction des déchets et la préservation des ressources naturelles, en plus d'améliorer les propriétés physiques et chimiques du béton auto-nivelant. Nous avons utilisé dans notre étude 100 cylindres (11X22) cm pour les tests de compression et d'ultrasons, et 100 échantillons prismatiques (28X7X7) cm pour les tests de retrait et de traction par flexion. , et 20 cubes "cubiques" (15X15X15) cm pour tester la perméabilité et 20 cubes "cubiques" (10X10X10) cm pour tester l'absorption de l'eau par capillarité. Les tests de cette étude pour le test des ondes ultrasonores ont donné les meilleurs résultats BAP2(15%) pour le mélange I et BAP'5(15%) pour le mélange II. Pour le test d'absorption par capillarité, les meilleurs résultats ont été BAP5(40%) pour le mélange I et BAP'3(25%) pour le mélange II. Pour le test de perméabilité, les meilleurs résultats ont été BAP1(40%) pour le mélange I et BAP'3(25%) pour le mélange II. Pour le test de pression, les meilleurs résultats ont été BAP3(15%) pour le mélange I et BAP'2(25%) pour le mélange II. Enfin, pour le test de traction par flexion, les meilleurs résultats ont été BAP4(40%) pour le mélange I et BAP'5(15%) pour le mélange II.

**Mot clé :** béton auto-plaçant, retrait, résistance à la compression, résistance à la traction, absorption capillaire, perméabilité.

**Abstract :**

Self-compacting concrete is a modern and innovative technology in the construction industry, and it is a concrete with very high workability that can flow through densely reinforced structural elements under its own weight without the need for a vibrator, sufficiently filling the voids without granular separation of its components. This work includes an experimental study on the composition and properties of self-compacting concrete BAP made from construction waste (brick, marble, glass, concrete) and dune sand with additional proportions for the concrete, and we carried out two mixes with the different proportions and in the same order as follows. Mix I (40%, 15%, 15%, 15%, 40%) Mix II (25%, 25%, 25%, 25%, 15%) and its comparison with the self-levelling concrete from a previous study. The main objective of this research is to valorise construction material waste as an additive for self-levelling BAP concrete, based on the abundance of these materials in nature, waste reduction and the preservation of natural resources, in addition to improving the physical and chemical properties of self-levelling concrete. We used 100 cylinders (11X22) cm in our study for compression and ultrasound tests, and 100 prismatic samples (28X7X7) cm for shrinkage and flexural tensile tests, and 20 cubic cubes (15X15X15) cm to test permeability and 20 cubic cubes (10X10X10) cm to test water absorption by capillarity. The tests of this study for the ultrasonic waves test yielded the best results BAP2(15%) for mix I and BAP'5(15%) for mix II. For the capillarity absorption test, the best results were BAP5(40%) for mix I and BAP'3(25%) for mix II. For the permeability test, the best results were BAP1(40%) for mix I and BAP'3(25%) for mix II. For the pressure test, the best results were BAP3(15%) for mix I and BAP'2(25%) for mix II. Finally, for the flexural tensile test, the best results were BAP4(40%) for mix I and BAP'5(15%) for mix II.

**Keyword:** self-compact concrete, shrinkage, compressive strength, tensile strength, capillary absorption, permeability.

# إهداء

الحمد لله الذي يسر البدايات و أكمل النهايات وبلغنا الغايات

الحمد لله الذي ما تم جهد إلا بعونه و ما ختم سعي إلا بفضله

أسأل الله أن يتقبل منا هذا العمل

نهدي هذا العمل إلى من سهر على تعليمنا و علمنا

معاني الحياة إلى الوالدين الكرمين ، وكل أفراد العائلة صغيرا و كبيرا

إلى كل الأصدقاء و الصديقات .

# شكر و عرفان

الحمد لله الذي أعاننا على انجاز هذا العمل المتواضع الذي نرجو أن يكون قيما و هادفا و صلى الله على سيدنا محمد سيد الخلق أجمعين و على آله و صحبه إلى يوم الدين .

نتوجه بالتقدير و الشكر للأستاذ: **بدادي العيد** الذي كان لنا نعم الموجه و لم يبخل علينا بنصح و لا بعلم طيلة مرحلة إنجاز هذا البحث .

كما نشكر جميع الأساتذة على مساعدتهم لنا في مسارنا الدراسي .

الشكر إلى كل من رافقنا في مسيرنا الجامعي خاصة قسم الري

و الهندسة المدنية و الشكر موصول لكل من قدم لنا يد المساعدة على طلب العلم و المعرفة و لا يسعنا إلا أن نتقدم بالشكر

و التقدير إلى لجنة المناقشة الدين بلا شك سوف تكون لملاحظاتهم و تصويباتهم الأثر الكبير على نوعية هذا البحث .

## جدول المحتويات

الصفحة	العنوان
	إهداء
	شكر و عرفان
	قائمة الجداول
	قائمة الأشكال
	قائمة الاختصارات
	الملخص
	Résumé
	Abstract
	مقدمة عامة
<b>الجزء النظري</b>	
<b>الفصل الأول I : عموميات حول الخرسانة ذاتية التوضع</b>	
05	1-I / مقدمة
05	2-I / تعريف الخرسانة ذاتية التوضع BAP
05	3-I / مميزات خرسانة ذاتية التوضع BAP
06	4-I / عيوب خرسانة ذاتية التوضع BAP
06	5-I / الخصائص الواجب توفيرها في مميزات الخرسانة ذاتية التوضع BAP
07	6-I / اختبارات الجودة الخرسانة ذاتية التوضع BAP
08	6-1 / في الحالة الطازجة
08	6-1-1 / التدفق slump flow
09	6-1-2 / اختبار حلقة J-Ring
10	6-1-3 / جهاز L BOX
11	6-1-4 / اختبار استقرار الغربال
12	6-2 / في الحالة المتصلبة
12	6-2-1 / الاختبارات الغير مدمرة
12	6-2-1-1 / اختبار أبعاد الخرسانة (الانكماش)
12	أ / إجراء الاختبار
13	6-2-1-2 / اختبار الموجات فوق الصوتية
13	أ / إجراء الاختبار
14	ب / طرق وضع المرسل و المستقبل على العينة
14	6-2-1-3 / امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعرية [NF EN772-11] .....
14	أ / إجراء الاختبار
15	6-2-1-4 / نفاذية الماء للخرسانة [EN 12390-8]
16	أ / إجراء الاختبار
16	6-2-2 / الاختبارات التدميرية للخرسانة
16	6-2-2-1 / اختبار الضغط
16	أ / مبدأ الاختبار
16	ب / إجراء الاختبار
17	6-2-2-2 / اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء

18	طريقة عملية لصياغة الخرسانة ذاتية التوضع BAP	7-I
19	المنهج الياباني	1-7
19	المنهج السويدي	2-7
19	الصياغة بالحد الأدنى لحجم العجينة	3-7
20	الصياغة عن طريق تحسين التدرج الحبيبي	4-7

## الفصل الثاني II: المكونات المستعملة في الخرسانة ذاتية التوضع

22	مقدمة	1-II
22	المواد المستخدمة	2-II
22	المواد الرابطة	1-2
22	1-1-2 الاسمنت	
23	2-1-2 الإضافات المعدنية	
23	1-2-1-2 الفوائد الاقتصادية والبيئية	
24	2-2-1-2 المزايا والأهمية	
24	3-2-1-2 تأثيرها على تدفق الخرسانة	
26	الركام	3-II
26	التركيز الحجمي للمواد الصلبة	4-II
27	المحسنات الفائقة	5-II
28	1-5-2 بعض أنواع المحسنات الفائقة	
28	2-5-2 آلية عمل المحسنات الفائقة (Superplastifiants)	
29	3-5-2 تأثير المحسنات الفائقة على تدفق الخرسانة ذاتية الدمك	
30	عوامل اللزوجة	6-II
30	1-6-2 الخصائص وآليات العمل	
30	الماء المستعمل	7-II
31	التفاعلات بين المكونات	8-II
31	1-8-2 تأثير المكونات على تركيبة الخرسانة ذاتية التوضع	
33	الخلاصة	9-II

## الفصل الثالث III : خصائص المواد المستعملة و صياغة الخرسانة ذاتية التوضع

35	1- III مقدمة	
35	2-III المواد المستخدمة	
36	1-2 الإسمنت	
37	2-2 الركام	
38	1-2-2 التحليل الحبيبي للركام وفق معيار (EN 933-1 و EN 933-2)	
39	2-2-2 نتائج اختبار للحصى 16/8	
40	3-2-2 نتائج اختبار للحصى 8/3	
41	4-2-2 نتائج اختبار للرمل 5/0	
42	5-2-2 معامل نعومة الرمل	
42	6-2-2 اختبار مكافئ الرمل (NF P18-598)	
43	3-2 ماء الخلط	

44	..... المواد المساعدة ( المحسنات )	4-2
44	..... المواد الناعمة	5-2
44	..... مسحوق نفايات الأجر	1-5-2
46	..... مسحوق نفايات الرخام	2-5-2
47	..... مسحوق نفايات الزجاج	3-5-2
49	..... مسحوق نفايات نفايات الخرسانة	4-5-2
50	..... مسحوق رمال الكثبان	5-5-2
51	..... الكثافة المطلقة والظاهرية (NF P 18-555 و NF P 18-554)	1-5-5-2
52	..... صياغة الخرسانة ذاتية التوضع	3-III
54	..... الخطة رقم I:	1-3
	..... صياغة الخرسانة ذاتية التوضع باستخدام مسحوق نفايات الأجر (1BAP)	1-1-3
54	..... %40	
	..... صياغة الخرسانة ذاتية التوضع باستخدام مسحوق نفايات الرخام (2BAP)	2-1-3
56	..... %15	
	..... صياغة الخرسانة ذاتية التوضع باستخدام مسحوق نفايات الزجاج (3BAP)	3-1-3
58	..... %15	
	..... صياغة الخرسانة ذاتية التوضع باستخدام مسحوق نفايات الخرسانة (4BAP)	4-1-3
60	..... %15 (	
	..... صياغة الخرسانة ذاتية التوضع باستخدام مسحوق رمال الكثبان (5BAP)	5-1-3
62	..... %40	
66	..... الخلاصة	4-III

### الجزء التطبيقي

#### الفصل الرابع IV : تحليل و مناقشة النتائج

69	..... مقدمة	1-IV
70	..... اختبارات الخرسانة في الحالة الطازجة	2-IV
70	..... التدفق slump flow	1-2
71	..... اختبار حلقة J-Ring	2-2
72	..... جهاز L BOX	3-2
73	..... اختبار استقرار الغريبال	4-2
74	..... اختبارات الخرسانة في الحالة المتصلبة	3-IV
74	..... اختبار الموجات فوق الصوتية	1-3
75	..... الخطة I	1-1-3
76	..... الخطة II	2-1-3
77	..... المقارنة بين الخلطات	3-1-3
78	..... امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعرية [NF EN772-11]	2-3
79	..... الخطة I	1-2-3
80	..... الخطة II	2-2-3

81	..... مقارنة بين الخلطات	3-2-3
82	..... نفاذية الماء للخرسانة [EN 12390-8]	3-3
83	..... الخلطة I	1-3-3
85	..... الخلطة II	2-3-3
86	..... مقارنة بين الخلطات	3-3-3
87	..... الاختبارات التدميرية للخرسانة	4-3
87	..... اختبار الضغط	1-4-3
88	..... الخلطة I	1-1-4-3
89	..... الخلطة II	2-1-4-3
90	..... مقارنة بين الخلطات	3-1-4-3
91	..... اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء (NF P18 – 433)	2-4-3
92	..... الخلطة I	1-2-4-3
93	..... الخلطة II	2-2-4-3
94	..... مقارنة بين الخلطات	3-2-4-3
96	..... الاستنتاج و التوصيات	4-IV

98  
100

قائمة المراجع  
الملاحق

## قائمة الجداول :

### الفصل الأول I: عموميات حول الخرسانة ذاتية التوضع

7	الجدول (I-1) خصائص قابلية تشغيل BAP
9	الجدول (I-2) فئات انتشار مخروط أبرامس .....
10	الجدول (I-3) فئات السيولة صندوق على شكل حرف L .....
11	الجدول (I-4) معايير استقرار الفصل لـ BAP .....

### الفصل الثاني II: مكونات وخصائص الخرسانة ذاتية التوضع

32	الجدول (II-1) تأثير المكونات على التركيبة الخرسانية .....
----	---

### الفصل الثالث III : خصائص المواد المستعملة وطريقة التركيبة الخرسانية

37	الجدول (III-1) بعض خصائص الاسمنت .....
39	الجدول (III-2) التحليل الحبيبي للحصى 16/8 .....
40	الجدول (III-3) التحليل الحبيبي للحصى 8/3 .....
41	الجدول (III-4) التحليل الحبيبي للرمل 5/0 .....
42	الجدول (III-5) Les normes soviétiques spécifient le module de finesse des sables .....
43	الجدول (III-6) قيمة مكافئ الرمل .....
44	الجدول (III-8) Quelques caractéristiques de TEMPO-12 .....
45	الجدول (III-9) التركيب الكيميائي لنفايات الخرسانة المسحوقة الأجر .....
46	الجدول (III-10) بعض خصائص نفايات الأجر المسحوق .....
47	الجدول (III-11) التركيب الكيميائي لنفايات الرخام المسحوق .....
47	الجدول (III-12) بعض خصائص نفايات الرخام المكسرة .....
48	الجدول (III-13) التركيب الكيميائي لنفايات الزجاج المسحوق .....
48	الجدول (III-14) بعض خصائص نفايات الزجاج المكسرة .....
49	الجدول (III-15) التركيب الكيميائي لنفايات الخرسانة المسحوق .....
50	الجدول (III-16) بعض خصائص نفايات الخرسانة المكسرة .....
51	الجدول (III-17) التركيب الكيميائي لرمال الكثبان المسحوقة .....
51	الجدول (III-18) بعض خصائص لرمال الكثبان المسحوقة .....
52	الجدول (III-19) الكثافة الظاهرية و المطلقة للمواد المستخدمة .....
53	الجدول (III-20) يوضح نسب المواد الناعمة المستعملة في الخلطات .....
53	الجدول (III-21) يوضح كمية الإضافات الكيميائية المستعملة في الخلطات من الاسمنت ...
55	الجدول (III-22) مكونات خرسانة ذاتية التوضع مع إضافة مسحوق نفايات الأجر .....

57	مكونات خرسانة ذاتية التوضع مع إضافة مسحوق نفايات الرخام	الجدول (III-23)
59	مكونات خرسانة ذاتية التوضع مع إضافة مسحوق نفايات الزجاج	الجدول (III-24)
61	مكونات خرسانة ذاتية التوضع مع إضافة مسحوق نفايات الخرسانة ....	الجدول (III-25)
63	مكونات خرسانة ذاتية التوضع مع إضافة مسحوق رمال الكثبان .....	الجدول (III-26)
64	كمية مختلف مكونات الخرسانة لكل 1 م <sup>3</sup> .....	الجدول (III-27)
65	يوضح نسب المواد الناعمة المستعملة في الخلطات .....	الجدول (III-28)

#### الفصل الرابع IV : نتائج و مناقشات النتائج

70	نتائج تجربة التدفق .....	الجدول (IV-1)
70	اختبار حلقة <b>J-Ring</b> .....	الجدول (IV-2)
71	اختبار <b>L-BOX</b> .....	الجدول (IV-3)
72	اختبار استقرار الغربال .....	الجدول (IV-4)
73	ملخص نتائج <b>BAP</b> في الحالة الطازجة .....	الجدول (IV-5)
74	قيم القياسات بالموجات الصوتية الخلطة <b>I</b> .....	الجدول (IV-6)
75	قيم القياسات بالموجات الصوتية الخلطة <b>II</b> .....	الجدول (IV-7)
76	قيم معامل الامتصاص عن طريق الخاصية الشعرية الخلطة <b>I</b> .....	الجدول (IV-8)
77	قيم معامل الامتصاص عن طريق الخاصية الشعرية الخلطة <b>II</b> .....	الجدول (IV-9)
78	قيم معامل النفاذية لأنواع الخرسانة المدروسة الخلطة <b>I</b> .....	الجدول (IV-10)
79	قيم معامل النفاذية لأنواع الخرسانة المدروسة الخلطة <b>II</b> .....	الجدول (IV-11)
80	قيم عمق الماء داخل العينات المدروسة الخلطة <b>I</b> .....	الجدول (IV-12)
81	قيم عمق الماء داخل العينات المدروسة الخلطة <b>II</b> .....	الجدول (IV-13)
82	قيم مقاومة الضغط على الخرسانة المدروسة الخلطة <b>I</b> .....	الجدول (IV-14)
83	قيم مقاومة الضغط على الخرسانة المدروسة الخلطة <b>II</b> .....	الجدول (IV-15)
84	قيم اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء الخلطة <b>I</b> .....	الجدول (IV-16)
85	قيم اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء الخلطة <b>II</b> .....	الجدول (IV-17)

## قائمة الأشكال :

### الفصل الأول I: عموميات حول الخرسانة ذاتية التوضع

8	اختبار التدفق slump flow .....	الشكل (I-1)
9	حلقة J-Ring .....	الشكل (I-2)
10	جهاز L .....	الشكل (I-3)
	BOX	
11	اختبار استقرار الغريال .	الشكل (I-4)
	.....	
12	جهاز قياس التمدد و الانكماش .....	الشكل (I-5)
13	جهاز قياس الموجات الصوتية .....	الشكل (I-6)
14	الأوضاع المختلفة للمرسل و المستقبل .....	الشكل (I-7)
15	اختبار امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعرية .....	الشكل (I-8)
16	جهاز نفاذية الماء للخرسانة .....	الشكل (I-9)
16	قياس عمق اختراق الماء .....	الشكل (I-10)
17	جهاز قياس قوة الضغط .....	الشكل (I-11)
18	اختبار مقاومة الانحناء .....	الشكل (I-12)

### الفصل الثاني II: مكونات و خصائص الخرسانة ذاتية التوضع

	تأثير جرعة الفيلر الكلسي على الانسيابية و تغيرها بشكل ملحوظ تبعا	الشكل (II-1)
26	نسبة الماء على الإسمنت E/C .....	
29	يوضح آلية عمل المحسنات الفائقة على جسيمات الإسمنت .....	الشكل (II-2)

### الفصل الثالث III: خصائص المواد المستعملة وطريقة التركيبية الخرسانية

38	يبين الرمل و الركام (3/8) (15/8) .....	الشكل (III-1)
	.....	
39	منحنى التحليل الحبيبي للحصى 16/8 .....	الشكل (III-2)
40	منحنى التحليل الحبيبي للحصى 8/3 .....	الشكل (III-3)
41	منحنى التدرج الحبيبي للرمل 5/0 .....	الشكل (III-4)
43	جهاز الرج و أنابيب تجربة مكافئ الرمل .....	الشكل (III-5)
44	نوع المحسن الفائقة المستعمل في الخلطة .....	الشكل (III-6)
45	نفايات الأجر المستعمل قبل و بعد الطحن .....	الشكل (III-7)
	نتائج فحص مسحوق نفايات الأجر بتقنية حيود للأشعة	الشكل (III-8)
45	السينية (DRX) .....	
46	نفايات الرخام المستعمل قبل و بعد الطحن .....	الشكل (III-9)
	نتائج فحص مسحوق نفايات الرخام بتقنية حيود للأشعة	الشكل (III-10)
46	السينية (DRX) .....	
47	نفايات الزجاج المستعمل قبل و بعد الطحن .....	الشكل (III-11)
	نتائج فحص مسحوق نفايات الزجاج بتقنية حيود للأشعة	الشكل (III-12)
48	السينية (DRX) .....	

49	نفايات الخرسانة المستعمل قبل و بعد الطحن	الشكل (III-13)
	نتائج فحص مسحوق نفايات الخرسانة بتقنية حيود للاشعة	الشكل (III-14)
49	السينية (DRX)	
50	مسحوق رمال الكثبان المستعمل قبل و بعد الطحن	الشكل (III-15)
50	نتائج فحص مسحوق رمال الكثبان بتقنية حيود للاشعة السينية (DRX)	الشكل (III-16)

#### الفصل الرابع IV: نتائج و مناقشات النتائج

70	العينات المنجزة لإجراء الإختبارات	الشكل (IV-1)
70	تدفق الخرسانة	الشكل (IV-2)
71	اختبار حلقة J-Ring	الشكل (IV-3)
72	اختبار L-BOX	الشكل (IV-4)
73	اختبار استقرار الغرابال	الشكل (IV-5)
74	اختبار الموجات فوق الصوتية	الشكل (IV-6)
	منحنى بياني لقيم القياسات بالموجات فوق الصوتية على الخرسانة	الشكل (IV-7)
75	المدرسة	
	منحنى بياني لقيم القياسات بالموجات فوق الصوتية على الخرسانة	الشكل (IV-8)
76	المدرسة	
	أعمدة بيانية لقيم القياسات بالموجات فوق الصوتية على الخرسانة	الشكل (IV-9)
77	المدرسة	
78	اختبار امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعرية	الشكل (IV-10)
	منحنى قيم معامل امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعرية	الشكل (IV-11)
79	الخلطة I	
	منحنى قيم معامل امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعرية	الشكل (IV-12)
80	الخلطة II	
	الأعمدة البيانية لمعامل امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعرية	الشكل (IV-13)
81	للخلطتين	
82	اختبار نفاذية الماء للخرسانة	الشكل (IV-14)
83	قيم عمق الماء داخل العينات المدرسة	الشكل (IV-15)
84	أعمدة بيانية لقيم عمق الماء داخل العينات المدرسة	الشكل (IV-16)
85	أعمدة بيانية توضح قيم معامل النفاذية للعينات الخرسانة المدرسة	الشكل (IV-17)
	أعمدة بيانية توضح عمق الماء للعينات الخرسانة المدرسة الخلطة	الشكل (IV-18)
86	I	
	أعمدة بيانية توضح عمق الماء للعينات الخرسانة المدرسة الخلطة	الشكل (IV-19)
86	II	
87	اختبار الضغط	الشكل (IV-20)
88	قيم مقاومة الضغط على الخرسانة المدرسة الخلطة I	الشكل (IV-21)
89	قيم مقاومة الضغط على الخرسانة المدرسة الخلطة II	الشكل (IV-22)
90	قيم مقاومة الضغط على الخرسانة المدرسة الخلطة I	الشكل (IV-23)
91	اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء	الشكل (IV-24)
92	منحنى اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء الخلطة I	الشكل (IV-25)
93	منحنى اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء الخلطة II	الشكل (IV-26)
94	منحنى اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء	الشكل (IV-27)

## قائمة الاختصارات :

- ✓ BAP : الخرسانة ذاتية التوضع باللغة الفرنسية .
- ✓ Scc : الخرسانة ذاتية التوضع باللغة الانجليزية .
- ✓ VMA : عوامل اللزوجة.
- ✓ Fly Ash : الرماد المتطاير .
- ✓ Slag : الخبث .
- ✓ Silica Fume : دخان السيليكا
- ✓ PNS : نفثالين سلفونات .
- ✓ PMS : بولي ملامين سلفونات .
- ✓ LS : ليغنوسلفونات المعدلة .
- ✓ PC : كربوكسيلات .
- ✓ PA : بولي أكريلات .
- ✓ POE : بولي أوكسي إيثيلين .
- ✓ E/C : هو مقدار يعبر عن النسبة بين وزن الماء و الأسمنت في الخرسانة .
- ✓ G/S : الكمية التي تعبر عن وزن الحصى و وزن الرمل في الخرسانة .
- ✓ NF AR : المعيار الأوربي الفرنسي .
- ✓ T500: T : وقت التدفق بالثواني .
- ✓ BAP1 ، BAP'1 : خرسانة ذاتية التوضع بمسحوق الأجر .
- ✓ BAP2 ، BAP'2 : خرسانة ذاتية التوضع بمسحوق الرخام .
- ✓ BAP3 ، BAP'3 : خرسانة ذاتية التوضع بمسحوق الزجاج .
- ✓ BAP4 ، BAP'4 : خرسانة ذاتية التوضع بمسحوق بمسحوق الخرسانة .
- ✓ BAP5 ، BAP'5 : خرسانة ذاتية التوضع بمسحوق رمل الكثبان .
- ✓ NA 442 : الاسمنت ، التركيب و المواصفات و معايير الامتثال للإسمنت .
- ✓ CEM II / B-L : الاسمنت البورتلاندي مع الحجر الجيري .
- ✓ 42,5 N : فئات المقاومة العادية عند 28 يوما في المدى القصير العادي .

# مقدمة

## مقدمة عامة:

الخرسانة هي مادة البناء الأساسية في بلادنا بسبب تكلفتها المنخفضة مقارنة بالإنشآت المعدنية ولموابكة متطلبات البناء السريع في البلاد ، هناك حاجة ماسة إلى إيجاد طرق تسهم في الإسراع من وتيرة المشاريع المختلفة ، تعد الخرسانة المصبوبة مسبقا و الخرسانة الجاهزة أكثر الطرق استخداما بدلا من الخرسانة التقليدية في الوقت الحالي ، تستخدم الخرسانة ذاتية التوضع (ذاتية الدمك) على نطاق واسع في مجال الخرسانة المصبوبة مسبقا و الخرسانة الجاهزة و الخرسانة المصبوبة في الموقع ، ما تتميز به هذه الخرسانة أنها تتطلب عمالة أقل و لا تتطلب اهتزازا ميكانيكيا حيث يمكنها أن تستقر و تسوى ذاتيا كما أن الوقت اللازم لتصلبها أعلى من الخرسانة التقليدية و يعتبر ذلك عامل مساعد أثناء النقل و الصب .

تعتبر الخرسانة ذاتية التوضع أحد التطورات التي حصلت في مجال تقنية الخرسانة لما تمتاز به من درجة عالية من السيولة و الانسياب حيث يمكن صبها بنجاح في القطاعات الضيقة و المزدحمة بحديد التسليح وذلك بدون الاستعانة بأي وسيلة دمك خارجية أو داخلية ، و يمكن التحكم بخواصها عند تصميم الخلطة لتلائم الغرض من تنفيذ المنشأ ، و لهذا أصبح تطويرها هدف مرغوب به في مجال الإنشآت و التنفيذ بغية التغلب على المشاكل التي تصاحب الخرسانة التقليدية ، و لإثبات نجاحها من جهة و تطويرها من جهة أخرى أجريت العديد من التجارب عليها

ل للوصول إلى خلطات خرسانية اقتصادية و تفادي أي عملية دمك خارجية أو داخلية [1] .

وبغض النظر عن تركيبها فإن الخرسانة ذاتية التوضع (ذاتية الدمك) لها نفس المواد التي تحويها الخرسانة التقليدية مع اختلاف في نسب هذه المواد ، و تضاف المواد الناعمة لإيجاد اتزان للحصول على خرسانة ذات لزوجة عالية سهلة الانسياب و مقاومة انفصال مكوناتها في حالتها الطرية مع توفير متطلبات الديمومة في الحالة المتصلدة لهذه الخرسانة .

تم في هذا البحث ادخل المواد الناعمة المتمثلة في مساحيق نفايات مواد البناء (الأجر ، الرخام ، الزجاج ، الخرسانة) و رمل الكثبان في خلطتين تجريبيتين كإضافة إسمنتية في الخرسانة ذاتية التوضع لدراسة مدى تأثيرها على خواص الخرسانة في الحالتين الطازجة و المتصلبة .

الهدف الرئيسي من هذا البحث هو تثمين نفايات مواد البناء كإضافة للخرسانة ذاتية التوضع BAP ، بناء على توفير هائل لهذه المواد في الطبيعة و تقليل النفايات و للحفاظ على المورد الطبيعي ، بالإضافة إلى تحسين الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للخرسانة ذاتية التوضع ، و اعتمدنا في منهجية البحث على محورين رئيسيين ( الجانب النظري - الجانب التطبيقي ) .

الجانب النظري يحتوي على :

- الفصل الأول : عموميات حول الخرسانة ذاتية التوضع تعريفها عيوبها خصائصها و ذكرنا أهم الاختبارات التي تجرى على الخرسانة ذاتية التوضع في الحالة الطازجة و الحالة المتصلبة .
  - الفصل الثاني : المكونات المستعملة في الخرسانة ذاتية التوضع و ذكرنا فيه
    - المواد الرابطة ( الاسمنت ، الاضافات المعدنية ، الفوائد الاقتصادية و البيئية ، المزايا ، الأهمية ، تأثيرها على تدفق الخرسانة ) .
    - الركام ، تركيز الحجمي للمواد الصلبة ، الملدنات الفائقة ، عوامل اللزوجة .
    - الماء المستعمل ، التفاعلات بين المكونات .
  - الفصل الثالث : خصائص المواد المستعملة وصياغة الخرسانة ذاتية التوضع يضم هذا الفصل
    - \* المواد المستعملة ( الاسمنت ، ماء الخلط ، الركام ، مساحيق نفايات البناء المضافة ، الاضافات الكيميائية الفائقة ) .
    - \* التحليل الحبيبي لـ ( الرمل 5/0 ، الحصى 8/3 ، الحصى 15/8 ) .
    - \* معامل نعومة الرمل ، اختبار مكافئ الرمل ، الكثافة الظاهرية و الكثافة المطلقة .
    - \* صياغة الخرسانة ذاتية الرمل للخلطات المدروسة باستعمال نفايات ( مسحوق الأجر ، مسحوق الرخام ، مسحوق الزجاج ، مسحوق الخرسانة ) مسحوق رمال الكتلان .
  - الفصل الرابع : تفسير و مناقشة النتائج و اعتمدنا في هذا الفصل على تفسير النتائج و مقارنتها مع الفوج الآخر لنفس السنة و كذلك مقارنتها مع الدراسة السابقة للسنة الماضية .
- و خلصت الاختبارات في هذه الدراسة بالنسبة لاختبار الموجات فوق الصوتية حققت أفضل النتائج  $BAP_2(15\%)$  للخلطة I و  $BAP'_5(15\%)$  للخلطة II اختبار الامتصاص عن طريق الخاصية الشعرية حققت أفضل النتائج  $BAP_5(40\%)$  للخلطة I و  $BAP'_3(25\%)$  للخلطة II اختبار النفاذية حققت أفضل النتائج  $BAP_1(40\%)$  للخلطة I و  $BAP'_3(25\%)$  للخلطة II و اختبار الضغط حققت أفضل النتائج  $BAP_3(15\%)$  للخلطة I و  $BAP'_2(25\%)$  للخلطة II و اختبار الشد عن طريق الانحناء حققت أفضل النتائج  $BAP_4(40\%)$  للخلطة I و  $BAP'_5(15\%)$  للخلطة II .

# الجانب النظري

## عموميات حول الخرسانة ذاتية التوضع

## I-1/- مقدمة :

تعد الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) واحدة من أهم التطورات في تكنولوجيا الخرسانة و البناء في الوقت الحالي و ذلك لقدرتها على التدفق الحر في القوالب و على رص نفسها بنفسها و على طرد الهواء المحصور دون استخدام الهزازات ، و من أهم الميزات التي تميزها عن الخرسانة التقليدية هو رص نفسها بطريقة كاملة و منتظمة مما يؤدي إلى تكوين أسطح خرسانية ملساء و كثيفة ذات مقاومة عالية للانعزال .

إن قدرة الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) على التحمل هو نتيجة إلى الكثافة و قابلية التشغيل و الحد من الفراغات بشكل ممتاز و كذلك الحد من ظاهرة النضح بالإضافة إلى زيادة قوة التلاصق بين الخرسانة و حديد التسليح حيث أثبتت الاختبارات أن الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) تعطي تلاصق أعلى بنسبة 50 % - 70 % بالمقارنة مع الخرسانة التقليدية التي يتم رصها بالكامل بالإضافة إلى مقاومة عالية للانفصال الحبيبي لمكوناتها .

من جانب آخر فإن الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) تتميز بمقاومة الانضغاط و مقاومة معايير الكسر و سرعة الذبذبات فوق الصوتية العالية مقارنة مع الخرسانة التقليدية .

بالإضافة إلى المميزات الفنية للخرسانة ذاتية التوضع (BAP) في الحالة الطازجة و الصلبة هناك مزايا اقتصادية تنتج عن استخدام هذه الخرسانة حيث أن أهم ما يميزها هو لزوجتها المنخفضة و معدل انسيابها العالي و هذا يؤدي إلى تقليل الضغط على المضخات الخاصة بضخ الخرسانة و تقليل تلفها . [2]

## I-2/- تعريف الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) :

هي نوع من الخرسانة المستحدثة لها القدرة على الانسياب و التدفق تحت تأثير وزنها الذاتي و ملء القوالب في وجود حديد تسليح مزدحم بالعناصر الإنشائية بدون استعمال معدات الاهتزاز و بدون حدوث انفصال حبيبي لمكوناتها مع أداء جيد .

## I-3/- مميزات الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) :

- ✓ تقليل وقت البناء و تقليل العمالة و المعدات المطلوبة .
- ✓ استخدامها في الأماكن الضيقة و الأماكن ذات كثافة تسليح عالية .
- ✓ لا تحتاج للتدخل في الموقع لزيادة الماء للخلطة .
- ✓ التقليل من الضوضاء أثناء عملية البناء نظرا لعدم استخدام الهزازات و سهولة أثناء عملية الصب .

- ✓ لا تحتاج لتسوية السطح بعد الصب نظرا لسهولتها .
- ✓ إمكانية صب كمية كبيرة في وقت قليل .
- ✓ أكثر معمارية من الخرسانة التقليدية .

#### I-4- عيوب الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) :

- ✓ ارتفاع تكلفة المواد المضافة التي تستخدم لزيادة قابلية التدفق و تقليل الانفصال مما يزيد من تكاليف البناء مقارنة بالخرسانة العادية .
- ✓ اختيار مواد أكثر صلابة .
- ✓ يلزم إجراء العديد من التجارب و الاختبارات العملية لاستخدام خليط مثالي .
- ✓ مطلوب دقة أعلى عند القياس و المراقبة .
- ✓ تواجه الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) تحديات كبيرة و خاصة في البيئات القاسية مثل المناطق التي تتعرض لتغيرات كبيرة في درجات الحرارة ، مما قد يؤثر على متانتها .

#### I-5- الخصائص الواجب توفيرها في الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) :

- الانسياب و السيولة العالية : يتم تحقيق ذلك بالآتي :
  - زيادة سيولة العجينة : باستخدام المدونات الفائقة أو استخدام نسبة عالية من ماء الخلط .
  - تقليل الاحتكاك الداخلي بين الحبيبات : بتقليل نسبة الركام الكبير في الخلطة أو باستخدام نسبة من المواد الناعمة المتدرجة بكمية كافية في الخلطة .
- المقاومة العالية للانفصال الحبيبي : يتم تحقيق ذلك بالآتي :
  - ✓ التقليل من استخدام الركام الكبير نسبيا و استخدام مواد لتحسين اللزوجة .
  - ✓ التقليل من استخدام الركام الكبير نسبيا و استخدام مواد ناعمة ذات مساحة سطحية كبيرة .
- القدرة العالية على الملء و الصب في الأماكن العميقة و الضيقة و ذات كثافة تسليح عالية دون حدوث توقف للخرسانة : يتم تحقيق ذلك بالآتي :
  - ✓ أن يكون لها مقاومة عالية للانفصال الحبيبي أثناء صب و تدفق الخرسانة .
  - ✓ حدوث توافق بين مقاسات التسليح الطولي و العرضي و بين مقاس الركام الكبير المستخدم و نسبته في الخلطة عن طريق تقليل نسبة الركام الكبير و تقليل نسبة الركام عامة في الخليط . [3]

**الجدول (I-1): خصائص قابلية تشغيل BAP [4].**

Propriétés d'un BAP	Moyens d'obtention	Actions à mener dans la formulation
Remplissage (fluidité)	Réduction des frictions entre les particules	Augmentation du volume de pâte
	Optimisation de la pâte	Utilisation des superplastifiants
		Optimisation du rapport E/C
Résistance à la Segregation	Réduction de l'eau libre dans le béton	Réduction du rapport E/C
		Utilisation de matériaux de grande surface
		Utilisation d'agents de viscosité
	Réduction de la séparation de phases	Réduction du rapport E/C
		Utilisation d'agents de viscosité
		Réduction de la taille maximale des granulats
Capacité de passage	Réduction de blocage des Granulats	Réduction du volume de gravier
		Réduction de la taille maximale des granulats

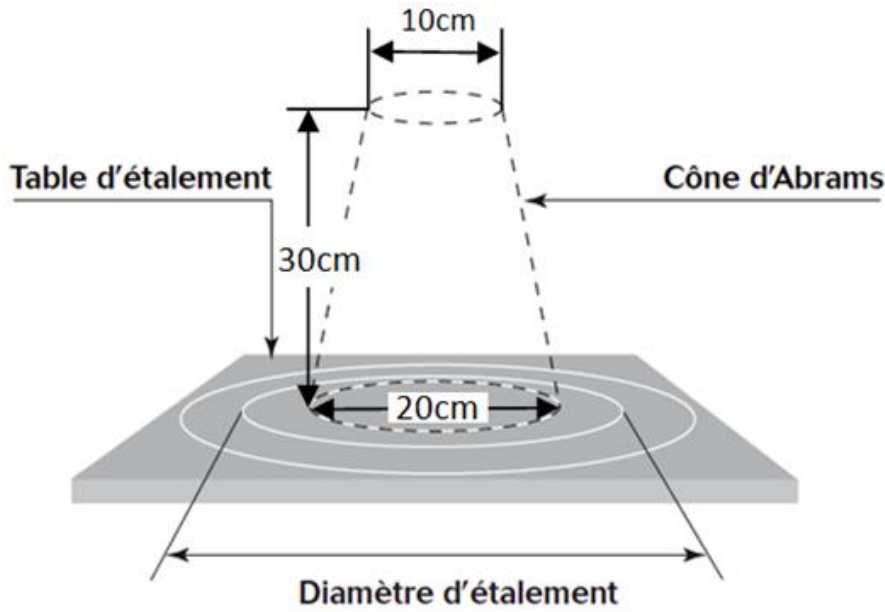
**I-6/- اختبارات جودة الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) :**

يعد تحديد خصائص الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) أمراً ضرورياً و يتمثل ذلك في معرفة سلوكها في حالتها الطازجة من خلال الاختبارات التي أجريت منذ تطويرها ، و تهدف هذه الاختبارات إلى تحديد خصائص الخرسانة من حيث : سيولتها ، ثباتها ، خلوها من التكتل ، فيما يلي ملخص لاختبارات قابلية التشغيل المختلفة التي تميز الخرسانة ذاتية التوضع (BAP).

6-1-1- في الحالة الطازجة :

**6-1-1- التدفق slump flow :** يعتبر اختبار حساس يتم تحديده عادة لجميع أنواع الخرسانة باعتباره الفحص الأساسي للتأكد من توافق الخرسانة الطازجة مع المواصفات ، عادة ما يتم الحصول على قيمة تدفق الركود من اختبار مخروط أبرامس المعروف بقياس القوام و التشغيلية في الخرسانة العادية ، إلا أنه في الخرسانة العادية نملاً المخروط و نقوم بدق طبقاته ثم نقيس مقدار الهبوط للتدليل على التشغيلية و هنا في هذا النوع من الخرسانة نملاً المخروط دون هز أو دق ثم نقوم بنزع المخروط و نقيس قطر انسياب و سيلان العينة الخرسانية .

توصي المواصفات على أخذ القياس من جهتين مختلفتين على الأقل .



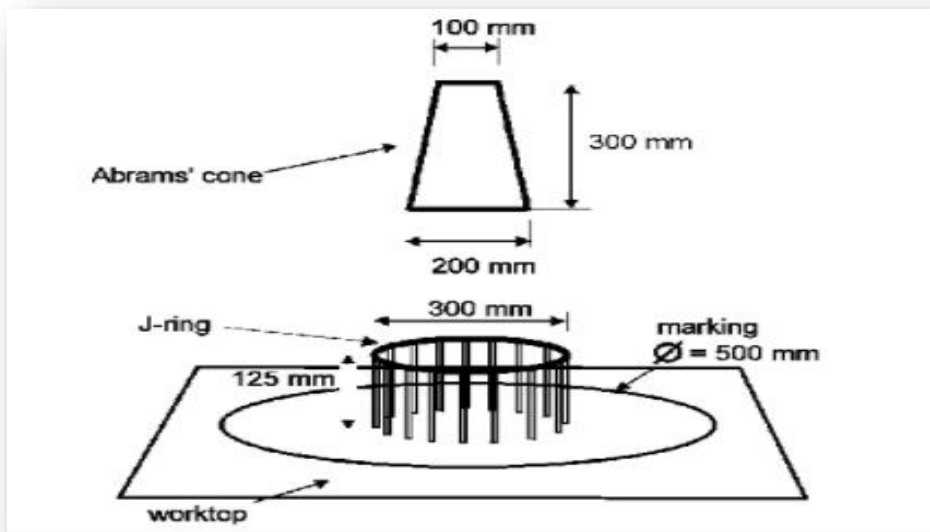
الشكل (1-1) : اختبار التدفق slump flow [13]

يصنف معيار NF EN 206 الخرسانة المنتشرة إلى ثلاثة مجموعات [5]

الجدول (2-I) : فئات انتشار مخروط أبرامس .

Classe	Étalement enmm	Domained'application de BAP
SF1	550 – 650	- Structures non ou peu ferrillées,béton coulé à partir du haut (ex: dalles). - Coulage par système de pompage du BAP (ex: tunnels). -Petites sections (ex: les piles et les fondations profondes).
SF2	660 – 750	- La majorité des applications.
SF3	760 – 850	- Application vertical. - Structures trop ferrillées. - Coulage à partir du dessous du coffrage. - Structures de forme complexe.

**6-1-2/- اختبار حلقة J-Ring** : يكون هذا الاختبار بالجمع بين حلقة J-Ring و مخروط أبرامس لمراقبة انتشار الخرسانة عبر التسليح ، و يستخدم لتحديد قابلية التدفق في بيئة محصورة و الانتشار ووقت الانتشار T500J للخرسانة ذاتية التوضع عندما تتدفق الخرسانة عبر حلقة تدعم شبكة التسليح ، يسمح بتحديد سعة تدفق الخرسانة .



الشكل (2-1) : حلقة J-Ring [14]

6-1-3- جهاز L BOX :

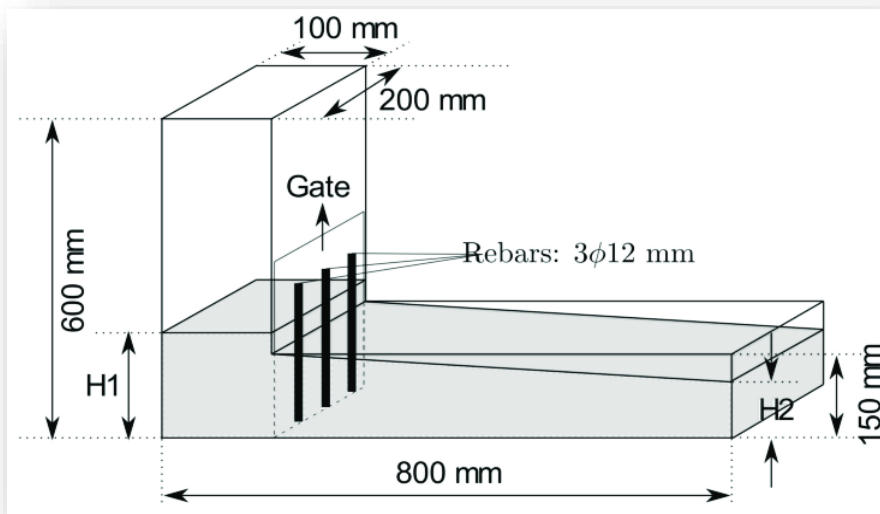
إن الهدف من استخدام هذا الفحص هو قياس قابلية المرور للخرسانة ذاتية التوضع (BAP) وإمكانية انسيابها بين قضبان حديد التسليح ، يتم في هذا الاختبار قياس الارتفاع الذي ستصل إليه الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) بعد انسيابها عبر فتحات ذات أبعاد قياسية بين قضبان حديدية بحيث أنها تمر من مساحة محددة مسبقا و بذلك يتم تقييم أداء هذه الخرسانة و يكون الاختبار بالطريقة التالية :

- ✓ يتم وضع الصندوق على ارض مستوية و بمستوى أفقي .
- ✓ يملأ الجزء العمودي من الجهاز بما يقارب 13 لتر من الخرسانة الطازجة .
- ✓ تترك الخرسانة لتستقر لمدة  $60 \pm 15$  ثانية خلال هذه المدة يمكن ملاحظة حصول أو عدم حصول ظاهرة الانفصال في الخرسانة .
- ✓ تفتح البوابة و يسمح للخرسانة بالانسياب من الجزء العمودي للجهاز الى الجزء الأفقي .
- ✓ عندما يتوقف انسياب الخرسانة كليا يتم قياس الخرسانة خلف قضبان الحديد و ارتفاع ابعده نقطة تصل اليها الخرسانة في الجزء الأفقي ويتم حساب النسبة  $H_2/H_1$  كما هو مبين في الشكل (1-3) [2] .

صنف معيار NF EN 206 الخرسانة ذاتية التوضع وفقا لمعدل ملئها و عدد القضبان

الجدول (3-I) : فئات السيولة صندوق على شكل حرف L .

Classe	Taux de remplissage de la boîte en L
PL1	0.80 avec 2 armatures $\geq$
PL2	0.80 avec 3 armatures $\geq$



الشكل (3-I) : جهاز L BOX [15]

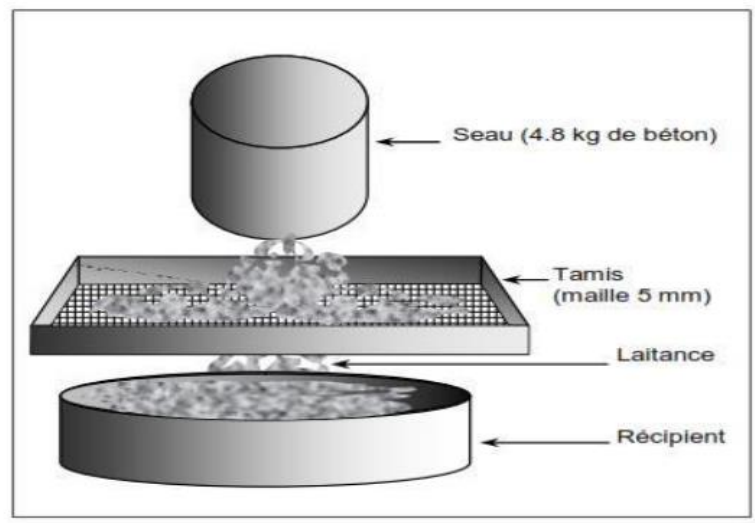
6-1-4- اختبار استقرار الغريال :

هو اختبار يتم إجرائه على الخرسانة الطازجة لتقييم مقاومتها للانفصال دون خطر ترسبها بفعل الجاذبية . تم تطوير الاختبار من قبل شركة " GTM للإنشاءات " و هو يسمح للخرسانة ذاتية التوضع (BAP) بالتأهل فيما يتعلق بخطر الفصل ، تتضمن هذه الطريقة صب 10 لترات من الخرسانة في دلو فوراً بعد الخلط ، ثم تغطية الدلو لحماية الخرسانة من الجفاف و تركها لترتاح لمدة 15 دقيقة ، صب 5 كلغ من الخرسانة في وسط الغريال ( المنخل ) 5 ملم ، على ارتفاع 50 سم ، يتم جمع الخرسانة و تمريرها إلى حاوية ، بعد دقيقتين يتم قياس نسبة وزن المار عبر الغريال الشكل (I - 4) .

يصف معيار NF EN 206 الخرسانة وفقاً لمعدل لمقاومتها للانفصال الحبيبي إلى فئتين .

الجدول (I - 4) : معايير استقرار الفصل لـ BAP .

Pourcentage de laitance (Pen %)	Critères de stabilité	Remarque
$0 \leq P \leq 15$	Stabilité satisfaisante	Béton homogène et stable
$15 > P \geq 30$	Stabilité critique	Vérifier les autres critères de stabilité
$P > 30$	Stabilité très mauvaise	Ségrégations systématique, béton inutilisable



الشكل (I - 4) : اختبار استقرار الغريال . [16]

**6-2/- في الحالة المتصلبة:** تخضع الخرسانة لاختبارات ميكانيكية مختلفة نذكر منها الاختبارات تحطيمية والاختبارات غير تحطيمية .

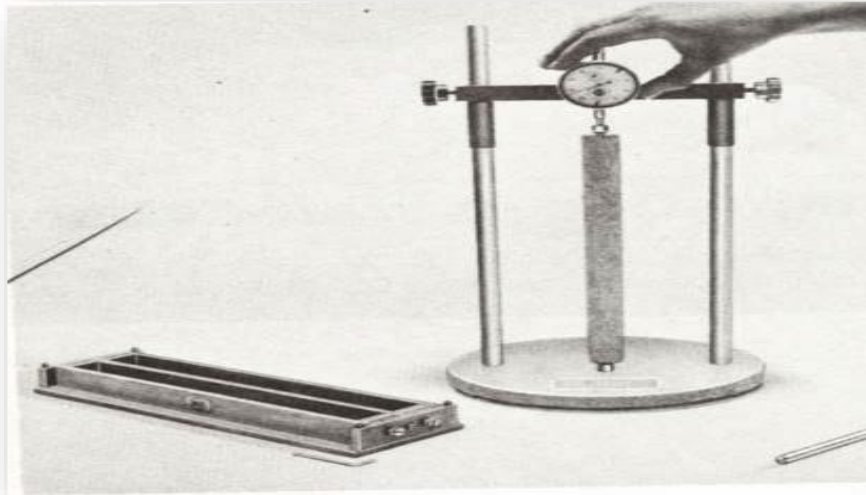
**6-2-1/- الاختبارات غير تحطيمية :**

**2-1-1/- اختبار أبعاد الخرسانة (الانكماش):** الانكماش هو خاصية من خواص الخرسانة التي تتصلد في الهواء ، ولا يسبب الانكماش مشاكل إلا إذا كان هناك قيودا على الحركة حيث يسبب اجهادات شد داخل الخرسانة مما يؤدي إلى تشرخها و يمكن التقليل من الآثار الضارة للانكماش عن طريق :

- ✓ المعالجة الصحيحة و المبكرة للخرسانة Effective Curing .
- ✓ عمل وصلات حركة Movement Joints .
- ✓ وضع أسياخ تسليح لمقاومة الانكماش Shrinkage Reinforcements، [6]

**أ/- إجراء الاختبار :**

يتم قياس التغيير في المسافة بين صامولتين مثبتة في طرفي العينة و التأكد من الاتصال بكاشف جهاز القياس (جهاز الارتداد) و هو مزود بقضيب فولاذي يعمل كمرجع .



الشكل (5-I) : جهاز قياس التمدد و الانكماش . [17]

**2-1-2/- اختبار الموجات فوق الصوتية :** في هذه الطريقة يتم إحداث نبضات عبارة عن موجات فوق صوتية لتسري من خلال الجزء المختبر و يتم تعيين زمن انتقالها ، حيث أن سرعة النبضات خلال جسم صلب يعتمد على كثافة المادة المختبرة و خواص المرونة لها .

**أ/- إجراء الاختبار :**

- ✓ يتم ضبط الجهاز مع جزء المعايرة المرفق مع الجهاز قبل بدء الاختبار على العينة .
- ✓ يوضع المرسل و المستقبل على العينة و أن يكون الاتصال تام بين سطحي المرسل و المستقبل و سطح العينة (يستخدم لهذا الغرض الشحم أو عجينة الجلسيرين أو الصابون السائل) .
- ✓ عند وضع المرسل و المستقبل على العينة يستمر هذا الوضع حتى تثبت القراءة و إذا تراجعت بين قراءتين يؤخذ المتوسط .
- ✓ يكون الرقم معبرا عن الوقت T لسريان النبضات خلال الجزء المختبر .
- ✓ تكون سرعة النبضات (v) كالآتي :

$$V=L / T(\text{Km/sec})$$

طول المسار المقاس L= Length .

زمن انتقال الموجة T=Transit Time .

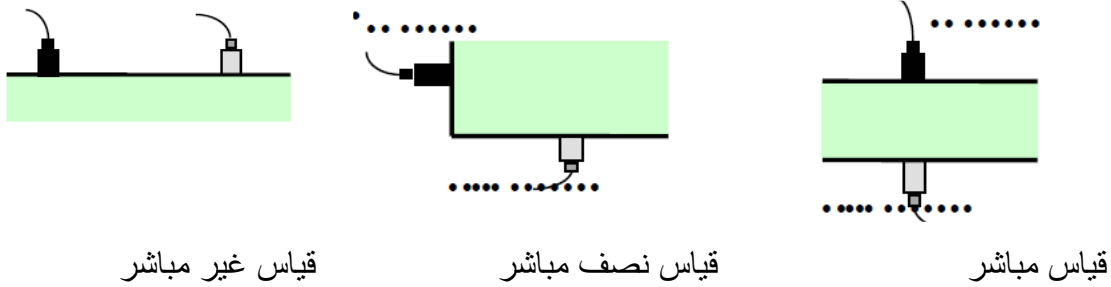
- ✓ يستخدم منحنى المعايير الخاص لإيجاد مقاومة ضغط المكعب المكافئ ، و قد وضع هذا المنحنى على أساس اختبار مجموعة كبيرة من العينات ذات المقاومة المختلفة و تم قياس سرعة النبضات في كل حالة ، دقة النتائج تتراوح بين 20% من القيمة الفعلية لمقاومة الضغط . [7].



الشكل (1-6): جهاز قياس الموجات الصوتية.

ب/- طرق وضع المرسل و المستقبل على العينة : توجد ثلاثة طرق لوضع المرسل و المستقبل على العين و من أهمها :

- ✓ قياس مباشر ( Direct Transmission ) في اتجاهين متضادين : و تستخدم في حالة إمكانية وضع المرسل و المستقبل بهذا الوضع و يعتبر أفضل وضع .
- ✓ قياس نصف مباشر ( Semi – direct Transmission ) يتم الانتقال على طول السطح و ذلك في حالة إمكانية الوصول إلى سطح واحد فقط من العنصر المختبر، و في هذه الحالة تكون العملية أقل كفاءة من السابق لأن أكبر طاقة تتجه إلى داخل الخرسانة .
- ✓ قياس غير مباشر ( Indirect Transmission ) في نفس السطح : هذه الطريقة لا تعطي معلومات عن الخرسانة الضعيفة و التي تكون تحت السطح القوى المتصلدة كما أن تحديد طول المسار أقل دقة و قد وجد أن السرعة في هذه الحالة أقل من الحالة المباشرة . [8]

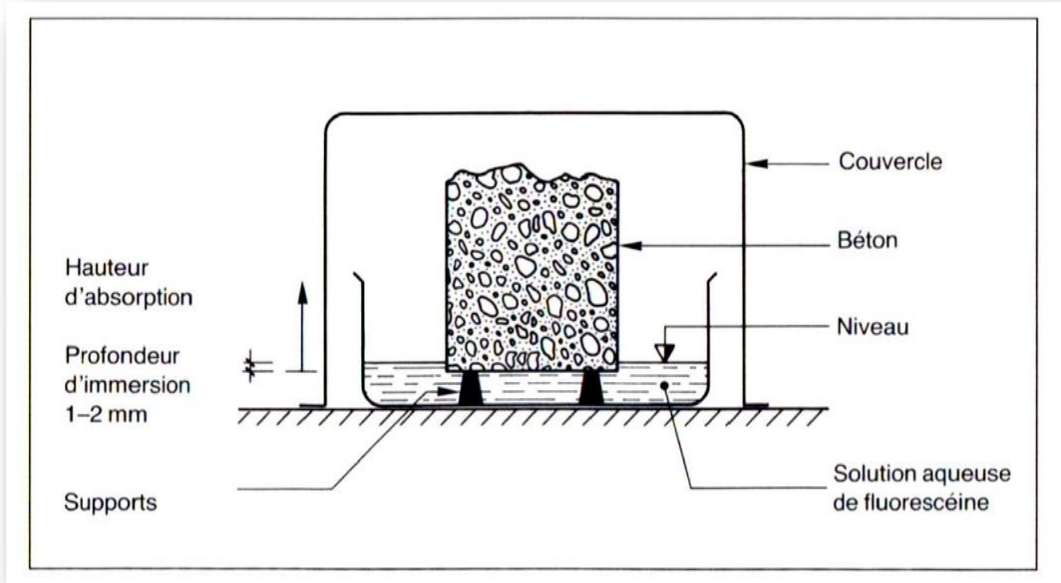


#### الشكل (7-I) : الأوضاع المختلفة للمرسل و المستقبل [17]

1-2-3 -/ امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعرية [NF EN772-11] : الامتصاص الشعري هو خاصية مائية تعكس قدرة العينة على امتصاص كمية معينة من الماء لكل وحدة زمنية و مساحة سطح ، عندما يكون جانب واحد فقط على اتصال مباشر بالماء يعبر عن معدل الامتصاص الشعري للماء بوحدة (غ / م<sup>2</sup> . ثانية ) .

#### أ/- إجراء الاختبار :

- يكون هذا الاختبار من مراقبة حركية الامتصاص الشعري من خلال كمية الماء الممتصة لكل وحدة مساحة سطح من العينة الملامسة للماء كدالة للجدر التريبيعي للزمن
- ✓ نقوم بوزن العينات و هي جافة .
- ✓ وضع العينات في حوض مائي بحيث يسمح بالاتصال المستمر لوجه واحد مع (3 ± 1) ملم من الماء يتم وزن العينات بمرور الوقت و بأوقات محددة بالمعيار .
- ✓ العينات التي يتم اختبارها يمكن أن تكون على شكل مكعب أو اسطوانية .



الشكل (I-8) : اختبار امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعيرية

**1-2-1-4- نفاذية الماء للخرسانة [EN 12390-8]** : هو اختبار لتحديد عمق اختراق الماء تحت الضغط لفترة زمنية معينة و عند قيمة ضغط معينة ، يتم تطبيق الماء تحت ضغط معين على سطح الخرسانة المتصلبة ، ثم يتم تقسيم العينة و قياس عمق اختراق واجهة الماء .

#### أ/- إجراء الاختبار :

- ✓ وضع العينة (العينات) في مواضع الاختبار مع التأكد من تغطية الحواف بالوجه السفلي للعينة ثم قفلها بإحكام في مكانها عن طريق قفل مقبض التثبيت .
- ✓ اضبط مقبض AIR الأمامي على IN واضبط مصدر الهواء المضغوط على 5 بار) انظر المعيار المرجعي ( EN 12390-8 ) تحقق من مستوى الضغط في مقياس اللوحة الأمامية لمنضدة الاختبار .
- ✓ اضبط مقبض موضع الاختبار المطلوب على SAMPLE .
- ✓ دع الاختبار يجرى في الوقت المحدد 72 سا ± 2 سا .
- ✓ اضبط مقبض القيادة الأمامي لموضع الاختبار على 0 لإنهاء الاختبار .
- ✓ فك المشبك و إزالة العينة من موضع الاختبار .



الشكل (I - 10) : قياس عمق اختراق الماء الشكل (I - 9) : جهاز نفاذية الماء للخرسانة .

6-2-2- /- الاختبارات التحطيمية للخرسانة :

6-2-2-1 /- اختبار الضغط :

أ/- مبدأ الاختبار : تخضع العينة (اسطوانية أو مكعب) و عادة تختبر العينات بعد مرور (7 ، 14 ، 28 ، 45 ، 60) يوم لقوة ضغط متزايدة F حتى الانهيار ، و الهدف من هذا الاختبار هو تحديد قوة ضغط الخرسانة و يأخذ متوسط القوة للعينات ، و يعبر عليها بالعلاقة التالية :

$$R_c (N/mm^2) = F / S$$

**F** : قيمة قوة الانهيار للعينة بوحدة N .

**S** : مساحة سطح الضغط بوحدة mm<sup>2</sup> .

ب/- إجراء الاختبار :

- ✓ التأكد من نظافة و استواء أسطح العينة التي توضع على الجهاز .
- ✓ وضع العينة على اللوح الرئيسي لجهاز الضغط .
- ✓ إدخال المعلومات للجهاز ( نوع العينة ، أحجام العينة .... إلخ ) .
- ✓ الضغط على زر التشغيل - البدء- تطبق الحمولة تدريجيا على العينة حتى الانهيار .
- ✓ توقف الجهاز و قراءة القوة F المسجلة على شاشة الجهاز .



الشكل (I- 11) : جهاز قياس قوة الضغط .

6-2-2-2-/- اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء (NF P18 – 433) : لتحديد مقاومة الانحناء يتم استخدام طريقة الحمل المركزية في منتصف المسافة عن طريق جهاز الانحناء ، حيث يتم وضع العينة في جهاز الانحناء مع وجه جانبي للقوالب على بكرات الدعم و محوره الطولي كما هو موضح في الشكل (1) – (2) تطبق القوة عموديا بواسطة بكره التحميل على الجانب المقابل للعينة و زيادتها بمقدار  $N/s \pm 10 N/s$  حتى تنكسر.

يتم حساب مقاومة الانحناء بالعلاقة التالية :

$$R_f (N/mm^2) = (1.5XF_f XL)/b^3$$

$R_f (N/mm^2)$  : هي قوة الانحناء بوحدة Mpa أو  $N/mm^2$  .

$b$  : مقطع الجانب المربع للعينة mm .

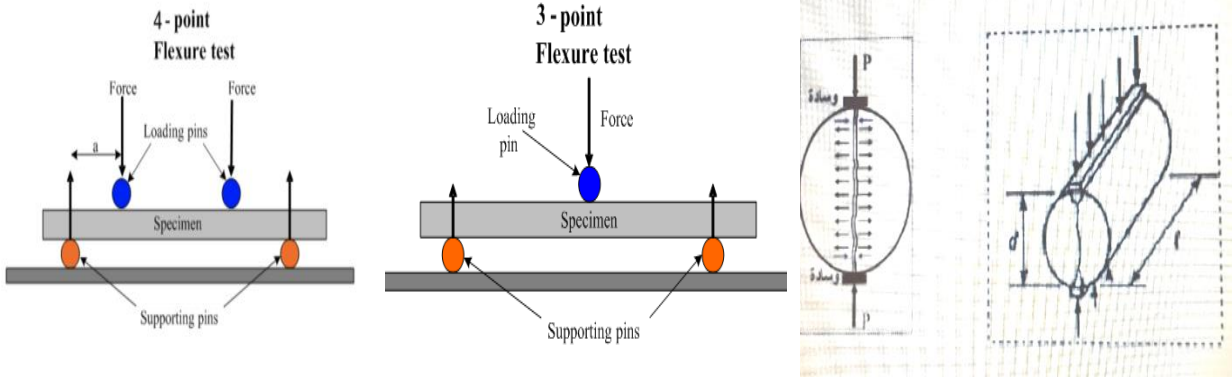
$N$  : القوة المطبقة على منتصف العينة عند الكسر بوحدة  $F_f$  .

$L$  : المسافة بين الدعائم بوحدة mm .

يمكن إجراءه بطريقتين .

✓ اختبار الشد غير المباشر ( اختبار برازيلي ) : وفيه يتم تسليط قوة على عينة اسطوانية الشكل بشكل جانبي حتى تنقسم إلى قسمين .

✓ اختبار الشد بالانحناء على العتبات الخرسانية (المباشر): يتم فيه استخدام حمولتين ( متناظرة و متساوية و مركزة) تطبق على ثلث الامتداد للعينة .



اختبار الشد بالانحناء على العتبات الخرسانية

اختبار الشد غير المباشر

الشكل (I- 12): اختبار مقاومة الانحناء .

I-7- طريقة عملية لصياغة الخرسانة ذاتية التوضع (BAP) :

يعد تطوير صيغة BAP أكثر تعقيدا لأنه

- ✓ عدد المكونات لهذا النوع من الخرسانة ستة على الأقل مقارنة بأربعة مكونات في حالة BO .
- ✓ يتضمن مواصفات خلطة عمل أفضل خاصة في الحالة الطازجة بالإضافة إلى الانتشار يجب ضمان قدرة التعبئة و الاستقرار .
- ✓ خصائص BAP متناقضة لأن الخرسانة الغنية بمعجون السوائل حساسة جدا للانفصال . [5]

منذ اختراع BAP لم يتم وضع منهجية صياغة عملية للخصائص المتنوعة المطلوبة تجعل صياغة BAP معقدة نسبيا تم تطوير مناهج متعددة حول العالم لصياغة خطة عمل أفضل نقدم لمحة عامة عن النهج الرئيسية . [9]

**7-1/- المنهج الياباني :** تتم صياغة BAP باستخدام النهج الذي تم تطويره في جامعة كوتشي (1990) بأمان ، مع تفضيل حجم الخليط على الركام ، الخرسانة الناتجة تكون بجرعات أقل من المطلوب في الركام ، و بالتالي فهي بعيدة عن الحد الأمثل اقتصاديا مبادئ الصياغة و تطبيقها كما يلي :

**أ /- جرعة الحصى :** أظهر باحثون يابانيون أن خطر الانسداد يتضاءل عندما يقتصر حجم الحصى لكل  $1\text{م}^3$  من الخرسانة على نصف حجمها ، بحكم التعريف ، فإن خليط الحبيبات هو نسبة حجم الحبيبات إلى الحجم الكلي للحبيبات + الفراغات و يعتمد ذلك بالطبع على طريقة الضغط .

**ب /- جرعة الرمل :** يتم إضافة كمية الرمل بمعدل ثابت قدره 40% من حجم ملاط الخرسانة ، يتم ضمان سيولة الخرسانة عن طريق تقليل الاحتكاك الحبيبي .

**ج /- جرعة المادة الرابطة :** لا تحدد الطريقة كيفية تحديد جرعة المادة الرابطة و مع ذلك يمكن تحديد كمية الاسمنت على سبيل المثال : من خلال احترام بيانات المعايير (هنا الحد الأدنى لكتلة الاسمنت 350كلغ/م<sup>3</sup>) ( يمكن أيضا اختيار نسبة كتلة الماء إلى الاسمنت (W/C) و نسبة الخليط إلى الاسمنت (F/C) بناء على معايير القوة .

**د /- جرعة الماء و المحسن :** يتم تحديد جرعات الماء و المحسن عن طريق الاختبارات على الملاط ، حيث يتم تثبيت حجم الرمل منه بنسبة 40% يتم إجراء قياسات الانتشار باستخدام مخروط الملاط و قياسات التدفق باستخدام القمع.[10]

**7-2/- المنهج السويدي :** تعتمد هذه الطريقة على الطريقة اليابانية المذكورة أعلاه ، المبدأ هو دمج نهج تقييم مخاطر الانسداد في عملية التركيب لكل من نسبة G/S ، يتم تقدير حجم المعجون الحرج للانسداد ، ثم يتم اختيار نسبة G/S التي تتحقق من الخواص الريولوجية المطلوبة ، يتم ضبط جرعات المواد الدقيقة و الماء و الملدن لتحقيق اللزوجة الكافية و عتبة القص المنخفضة و القوة المطلوبة ، يسمح هذا النهج بتحسين الهيكل بشكل أفضل ، مع ذلك لا يمكن تطبيق معيار الخطر على أي نوع من أنواع التجمعات.[10]

**7-3/- الصياغة بالحد الأدنى لحجم العجينة :** في هذه الطريقة تعتبر الخرسانة مادة ثنائية الطور مع وجود طور صلب ، يتكون من الركام و طور سائل يتكون من العجينة ( ماء ، المادة الرابطة ، المواد المضافة) و يفترض الباحثون أن العجينة تلعب دورين رئيسيين في BAP ، فمن ناحية تضمن سيولة الخليط مما يحد من الاحتكاك بين الركام ، و من ناحية أخرى تحافظ على الحصى متباعدا لمنع الانسداد ، وللقيام بهذين الدورين يعتبر الباحثون أنه يجب أن يكون هناك حد أدنى من حجم العجينة[11] .

**7-4- الصياغة عن طريق تحسين الهيكل العظمي الحبيبي :** مع العلم أن قوة الانضغاط تزداد مع انضغاط العجينة و أن قابلية التشغيل تعتمد على ترتيب الهيكل العظمي الحبيبي ، تعتمد صياغة الخرسانة على تحسين مسامية النظام، مع الأخذ في الاعتبار جميع الحبيبات الصلبة ، إذا كانت المرحلة البينية هي ماء الخلط و ليس بالإضافة إلى العجينة، و كلما زادت كمية الماء التي تفصل بين الحبيبات كلما كان المعلق أكثر سيولة مع وجود كمية ثابتة من الماء إذا قمنا بتقليل مسامية كومة الحبيبات إلى الحد الأدنى فإننا نحسن حجم الماء المتاح لسيل الخليط [11] .

**الطريقة القائمة على تصميم التجربة :** مبدأ هذه الطريقة هو استخدام تصميم التجربة لتحديد التأثير من معاملات تكوين الخرسانة ، وقد أجريت الدراسة باستخدام العوامل التالية :

حجم الشرائح ، وكتلة (C+A) ، ونسبة كتلة الماء إلى  $E / (C+A)$  ، وكتلة الملدن الفائق و كتلة عامل اللزوجة ، بتنوع كل عامل على مدى خمس نقاط ، و بذلك يصل عدد التركيبات التي تم إجراؤها إلى 25 في النهاية ، يتم تزويد النماذج التي تم الحصول عليها بنتائج الاختبار على وجه الخصوص .

## الفصل الثاني

المكونات المستعملة في الخرسانة ذاتية

التموضع

## المكونات المستعملة في الخرسانة ذاتية التوضع

### II-1-1- مقدمة

تتطلب أي صياغة فهم تأثير كل مكون على خصائص تدفق الخرسانة. يعتمد دور المكون بشكل أساسي على حالته (سائل، صلب) وطبيعته المعدنية والكيميائية والشكلية. وهكذا، في هذا الفصل سوف نصف خصائص المكونات المختلفة التي تدخل في تركيب الخرسانة ذاتية التوضع (المواد الخام، الأسمنت، الإضافات المعدنية، المواد المساعدة والماء)، والمعايير المؤثرة.

المكونات الأساسية للخرسانة العادية هي الأسمنت والماء والمواد الخام. في الواقع، إذا لم يكن أحد هذه المكونات موجودًا، فلن يكون هناك وجود ملموس. ومن ناحية أخرى، أصبح من الممكن الحصول على الخرسانة ذاتية الضغط بفضل إضافة المواد المساعدة والإضافات المعدنية إلى التركيبة الأساسية للخرسانة. المواد المضافة هي مواد كيميائية يتم إضافتها إلى الخرسانة الطازجة بكميات صغيرة لتحسين خصائص معينة. وترتبط فعاليتها بمدى تجانس توزيعها في المصفوفة الخرسانية. هناك عدة أنواع من المواد المضافة: الملدنات، والملدنات الفائقة، ومحسسات الهواء، وعوامل اللزوجة، ومثبطات التصلب والمسرعات، وما إلى ذلك. والمواد المضافة الرئيسية القادرة على تعديل تدفق الخرسانة ذاتية التوضع، والتي يتم تضمينها في تركيبها الأساسية، هي الملدنات الفائقة وعوامل اللزوجة.

### II-2- المواد المستخدمة :

يلعب كل مكون دورًا مختلفًا في تدفق وسلوك الخرسانة

#### 2-1-1- المادة الرابطة :

##### 2-1-1-1- الإسمنت:

تُعد المواد الأولية المستخدمة في صناعة الإسمنت ضرورية لتوفير نسب مناسبة من المركبات الأساسية مثل الجير (أكسيد الكالسيوم)، السيليكا، الألومينا، وأكسيد الحديد. يتم ذلك من خلال خلط مواد كلسية مثل الحجر الجيري أو الحجر الجيري الطباشيري مع مواد طينية كالأحجار الطينية الرخوة أو الطين، حيث تمثل المواد الكلسية مصدرًا للجير، في حين تمثل المواد الطينية مصدرًا للسيليكا والألومينا. وفي حال وجود نقص أو زيادة في أحد هذه المركبات، تُستخدم مواد إضافية لتعديل تركيبة الخليط الخام .

بعد الحصول على الكلنكر من الفرن، يُبرّد بسرعة لتثبيت خصائصه الفيزيائية والكيميائية، ثم يُطحن جيدًا في مطاحن خاصة مع إضافة كمية صغيرة من الجبس (كبريتات الكالسيوم)، والذي يعمل على تنظيم زمن الأخذ (التصلب). في بعض الحالات، تُضاف مواد إضافية مثل البوزولان أو خبث الأفران لتحسين خواص الإسمنت حسب نوع الاستخدام. [3]

### 2-1-2- الإضافات المعدنية: [2]

تُضاف مواد معدنية مختلفة إلى الخرسانة، سواء لتعويض جزء من الإسمنت أو بدون استبداله، وذلك بهدف تحسين بعض خصائص الخرسانة أو إكسابها خصائص مميزة. وتُعتبر هذه الإضافات مواد دقيقة الحبيبات، والتي غالبًا ما تكون ناتجة عن عمليات صناعية ومن أبرزها:

➤ **دخان السيليكا (Silica Fume):** الذي يعزز مقاومة الضغط ويقلل النفاذية، ويُستخدم في الخرسانة عالية الأداء.

➤ **الرماد المتطاير (Cendres Volantes):** الذي يُحسن قابلية التشغيل ويُقلل حرارة التفاعل، مما يجعله مناسبًا للكتل الخرسانية الكبيرة.

➤ **خبث الأفران العالية (Laitier de Haut Fourneau):** الذي يُستخدم لزيادة المتانة ومقاومة الأملاح والكبريتات، مع تقليل النفاذية.

➤ **الحشو (Fill):** مثل مسحوق الحجر الجيري، الذي يُقلل التكلفة ويحسن توزيع الحبيبات ويملأ الفراغات داخل الخلطة.

وتُشتم هذه المواد الدقيقة في تحسين أداء الخرسانة من حيث القوة، المتانة، قابلية التشغيل، وتقليل المسامية، مما يجعلها عناصر مهمة في تصميم الخلطات الخرسانية الحديثة.

### 2-1-2-1- الفوائد الاقتصادية والبيئية:

تُعد الإضافات المعدنية من المخلفات الصناعية الثانوية، وغالبًا ما تقتصر تكلفتها على مصاريف النقل والمعالجة كالحق والطحن، مما يجعل استخدامها اقتصاديًا. وعند استعمالها في تركيب الخرسانة كبديل جزئي للإسمنت - وهو مادة أكثر تكلفة - فإنها تساهم بشكل مباشر في خفض تكلفة إنتاج الخرسانة إلى جانب ذلك، فإن التوسع في استخدام هذه الإضافات عالميًا يُساعد في تقليل الحاجة إلى إنتاج كميات كبيرة من الإسمنت، والذي يتطلب درجات حرارة عالية أثناء تصنيعه، مما يعني تقليل استهلاك الوقود، و بالتالي الحد من انبعاثات

ثاني أكسيد الكربون المرتبطة بصناعة الإسمنت، الأمر الذي يُعزز من استدامة قطاع البناء ويحمي البيئة. [1]

### 2-2-1-2- المزايا و الأهمية:

توفر الإضافات المعدنية عند دمجها في الخلطات الخرسانية مزايا تقنية عديدة تعزز من أداء الخرسانة وجودتها. فهي تُحسن قابلية التشغيل، خاصة في الخلطات ذات المحتوى المائي المنخفض، وتُساعد في تقليل النفادية، مما يزيد من مقاومة الخرسانة للتآكل والمواد الكيميائية. كما تُساهم في زيادة مقاومة الضغط، خصوصاً على المدى الطويل، وتعزز من ثبات الحجم وتقلل من التشققات الناتجة عن الانكماش الحراري أو الجفاف. بعض الإضافات، مثل دخان السيليكا، تمنح الخرسانة كثافة عالية وقوة ميكانيكية كبيرة، مما يجعلها مثالية للمنشآت التي تتطلب تحملاً عالياً. وبالإضافة إلى ذلك، فإنها تُحسن مقاومة الخرسانة للكبريتات والكلوريدات، مما يطيل عمر المنشآت المعرضة لبيئات قاسية مثل السواحل أو محطات المعالجة.

### 2-2-1-3- تأثيرها على تدفق الخرسانة:

عندما تكون قوى التجاذب من نوع فان دير فال بين جسيمات المعلق الأسمنتي قوية أو مهيمنة، فإن ذلك يؤدي إلى تشكل تجمعات (flocs) داخل المحلول، ما يقلل من قابلية تدفق الخرسانة. ويمكن الحد من هذه الظاهرة بإضافة محسنات فائقة اللدونة (Superplastifiants) التي تلتصق بجزيئات الأسمنت وتمنحها شحنة سالبة، مما يؤدي إلى تقليل قوى التجاذب وزيادة قوى التناثر، وبالتالي تحسين انسيابية الخليط. وهنا تلعب الإضافات المعدنية دوراً مهماً، إذ إن الجزيئات الدقيقة لهذه الإضافات تتوضع بين الحبيبات الأكبر حجماً، مما يُعدل البنية الداخلية للخليط ويُساهم في خفض عتبة القص للخرسانة. مع ذلك، فإن تأثير الإضافات المعدنية على لزوجة الخرسانة يعتمد على عدة عوامل، من بينها الجرعة، والنوع، والنعومة، وشكل الجسيمات، وتوزيعها الحجمي. فزيادة نسبة الجزيئات الدقيقة في الخرسانة مع بقاء كمية الأسمنت ثابتة يؤدي إلى زيادة تركيز المواد الصلبة، ما يرفع من لزوجة الخليط. أما في حالة استبدال جزء من الأسمنت بإضافات معدنية مع الحفاظ على كمية المسحوق الكلية، فإن نوع الإضافة يحدد تأثيرها على قابلية التدفق. فمثلاً، دخان السيليكا يحتاج إلى كمية ماء أكبر مقارنة بالأسمنت، ما يقلل من قابلية التشغيل ويزيد اللزوجة، في حين أن إضافات مثل خبث الأفران والرماد المتطاير الميكروني لها حاجة مائية أقل، مما يجعلها مفيدة في تحسين خصائص الخرسانة ذاتية التوضع والخرسانة العالية الأداء من خلال تقليل اللزوجة وتعزيز الخواص الميكانيكية. [3]

الرماد المتطاير ودخان السيليكا والخبث، تؤثر بشكل ملحوظ على قابلية تدفق الخرسانة (workability)، سواء بالإيجاب أو السلب، حسب نوع الإضافة ونسبتها:

✓ الرماد المتطاير (Fly Ash) :

يزيد من سيولة الخرسانة وقابلية تشغيلها.

يعطي ملمسًا ناعمًا ويساعد في التدفق دون الحاجة لزيادة الماء.

✓ الخبث (Slag) :

تأثيره مشابه للرماد، يساعد في تحسين التدفق قليلاً مع الحفاظ على التماسك.

✓ دخان السيليكا (Silica Fume) :

يقلل التدفق بسبب نعومته الشديدة وامتصاصه العالي للماء.

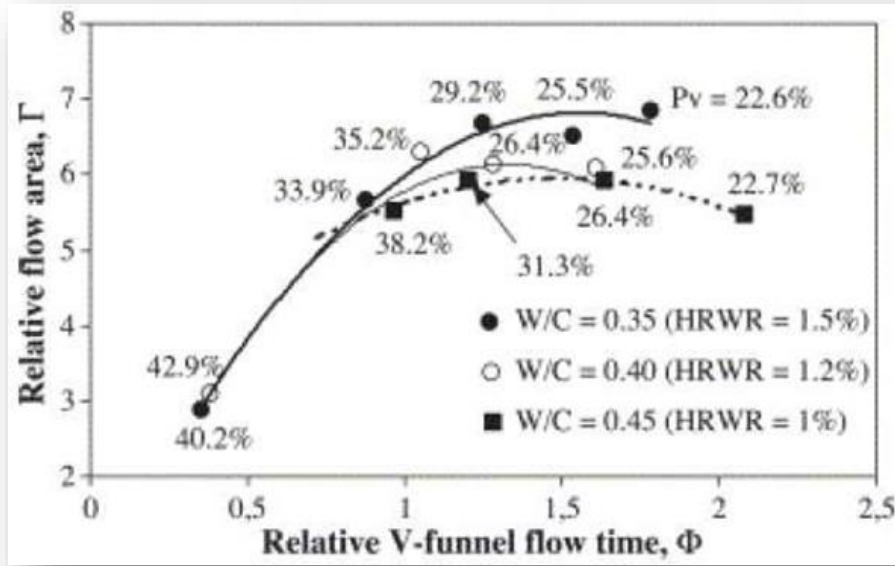
يتطلب عادة استخدام محسنات مميعة (Superplastifiants) لتحسين التدفق.

✓ الحشو (Fill) :

يساعد في ملء الفراغات الصغيرة، مما يُحسّن الانزلاق بين الجزيئات ويُحسّن التدفق.

✓ الفيلر الكلسي (حشو الحجر الجيري):

هو مسحوق ناعم جداً يُستخدم كمادة مالئة في صناعة الخرسانة، وله دور فيزيائي مهم رغم كونه غير نشط كيميائياً مثل الأسمنت. يتم إضافته لتحسين التدرج الحبيبي للمزيج، حيث تتغلغل جزيئاته الدقيقة بين الفراغات الموجودة بين الرمل والأسمنت، مما يُنتج خليطاً أكثر كثافة وصلابة. كما يُسهم في زيادة قابلية التشغيلية للخرسانة من دون الحاجة لزيادة كمية الماء، ويعمل على تقليل المسامية، وبالتالي يرفع من متانة الخرسانة ويُقلل من نفاذية الماء والمواد الضارة. بالإضافة إلى ذلك، يُعد استخدامه طريقة اقتصادية وبيئية لأنه يُمكن أن يُستعمل كبديل جزئي عن الأسمنت، مما يُقلل من تكلفة الإنتاج ويُخفف من انبعاث ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن تصنيعه. [2]



الشكل (II- 1): تأثير جرعة الفيلر الكلسي على الانسيابية وتغيرها بشكل ملحوظ تبعاً لنسبة الماء إلى الإسمنت.. (E/C) [2]

### II-3- الركام: [3]

يشكل الركام، سواء كان رمالاً أو حصى، العنصر الأساسي في تركيب الهيكل البنوي للخرسانة، حيث تتراوح أبعاده بين 0 و 125 ملم، ويجب أن يكون خاملاً كيميائياً تجاه مكونات الخرسانة الأخرى كالأسمنت والماء والهواء. تتحدد خصائص الركام الفيزيائية مثل الكثافة والمسامية والمقاومة تبعاً لطبيعة الصخور المستخرجة منها، كما تؤثر طريقة التحضير على شكله وتدرجه الحجمي، إذ تُفرق بين الركام المدور المستخرج من المصادر الطبيعية كالأودية والبحار، والركام المكسر الناتج عن تكسير الصخور في المحاجر.

يلعب الركام دوراً مزدوجاً في الخرسانة؛ فمن جهة يساهم بشكل كبير في خفض تكلفتها نظراً لانخفاض ثمنه مقارنةً بالأسمنت، ومن جهة أخرى له تأثير حاسم على مقاومة الخرسانة عند التصلب، وذلك من خلال خصائصه الذاتية ومدى تراسه داخل الخليط ومدى التصاقه بالعجينة الأسمنتية. كما أن توزيع أحجام حبيباته (التدرج الحجمي) يؤثر مباشرةً على سلوك الخرسانة في حالتها الطازجة. فعندما تكون الحبيبات بأحجام مختلفة، تملأ الحبيبات الصغيرة الفراغات بين الكبيرة، مما يؤدي إلى هيكل أكثر تراساً ويقل الحاجة للعجينة لملء الفراغات، وبالتالي يُحسن من قابلية تدفق الخرسانة. وقد أظهرت الدراسات أن أقصى سيولة للخرسانة تتحقق عند الوصول إلى أفضل تدرج وتراس للركام الجاف، مع وجود نسبة مثالية بين الحصى والرمل (G/S) حسب اختبار الهبوط باستخدام مخروط أبرامز.

ولتحقيق خصائص الخرسانة ذاتية التوضع، غالباً ما يتم تقليل حجم الركام وأقصى حجم للحصويات لتفادي الاحتكاك والتكتل خاصةً في المناطق المعززة بكثافة الحديد، مما يُحسن من قدرة الخرسانة على الانسياب دون انفصال مكوناتها.

#### II-4- التركز الحجمي للمواد الصلبة: [4]

يُعدّ التركيز الحجمي للمواد الصلبة من العوامل المهمة التي تؤثر بشكل مباشر على خصائص الخرسانة، خصوصاً بعد إدخال إضافات معدنية ومواد محسنة كيميائياً مثل المحسنات الفائقة. في السابق، كان الاهتمام الأكبر موجّهًا نحو نسبة الماء إلى الإسمنت (E/C)، نظراً لعلاقتها المباشرة بمقاومة الخرسانة ومتانتها، لكن مع تطور تكنولوجيا الخرسانة، أصبح من الضروري الاعتماد على معايير أكثر دقة تأخذ بعين الاعتبار جميع مكونات الخليط.

التركيز الحجمي يعكس النسبة الحقيقية لكمية المواد الصلبة الموجودة في الحجم الكلي، وكلما زاد هذا التركيز، زادت لزوجة الخلطة وارتفع الحد الأدنى للانسياب، مما يؤثر على سلوك الخرسانة في الحالة الطازجة ويحد من قدرتها على التدفق بسهولة، وخاصة في الخرسانة عالية الأداء والخرسانة ذاتية التوضع.

#### II-5- المحسنات الفائقة:

يُعتبر المحسن الفائق (Superplastifiant) من الإضافات المهمة في الخلطات الإسمنتية، حيث يؤدي دوراً رئيسياً في تحسين خصائص الخلطة، وخصوصاً من حيث السيولة. تتمثل وظيفته الأساسية في زيادة السيولة التشغيلية دون الحاجة إلى زيادة كمية الماء، وهو ما يُعرف بتأثير "المحسن الفائقة". بفضل هذا التأثير، يمكن الحفاظ على نفس نسبة الماء مع الحصول على خلطات أكثر مرونة وسهولة في الصب، دون التأثير السلبي على مقاومة الخرسانة على المدى البعيد.

كما يلعب المحسن الفائق دوراً آخر لا يقل أهمية، وهو تقليل نسبة الماء إلى الإسمنت (E/C)، مع الحفاظ على نفس درجة التشغيلية، مما يساهم في تحسين الأداء الميكانيكي للخرسانة وزيادة متانتها، خصوصاً في المشاريع التي تتطلب أداءً عاليًا ومقاومةً طويلة الأمد. [5]

### 5-1- بعض أنواع المحسنات الفائقة: [6]

توجد أنواع عديدة من المحسنات الفائقة (Superplastifiants) في السوق، وهي مواد مضافة تُستخدم بشكل رئيسي في صناعة الخرسانة. تتكوّن هذه المواد من بوليمرات عضوية تحتوي على مجموعات كارهة للماء (Hydrophobes) وأخرى محبة للماء (Hydrophiles)، وتُصنّف إلى عدة عائلات رئيسية، نذكر منها: بولي نفتالين سلفونات (PNS)، بولي ملامين سلفونات (PMS)، ليغنوسلفونات المعدلة (LS)، بولي كربوكسيلات (PC)، بولي أكريلات (PA)، وبولي أوكسي إيثيلين (POE).

أما بالنسبة للجيل الجديد من هذه المنتجات، فتركيبها الكيميائية غالباً ما تبقى سرية حفاظاً على الأسرار الصناعية. في السابق، كانت أكثر الأنواع استخداماً هي PMS و PNS، وهي عبارة عن بوليمرات أنيونية تحتوي على مجموعات سلفونات ( $-SO_3$ ) موزعة بشكل منتظم. ومع ذلك، فإن استعمال هذه الأنواع المبنية على السلفونات بدأ يتراجع في أوروبا، بسبب احتوائها على مواد كيميائية سامة وملوثة، مثل الفورمالدهيد (Formol).

### 5-2- آلية عمل المحسن الفائقة (Superplastifiants) :

تعتمد بشكل رئيسي على تفاعلها مع جسيمات الأسمنت في الخلطة، وتهدف إلى تحسين تدفق الخرسانة دون زيادة الماء. ويمكن تلخيص آلياتها في النقاط التالية:

#### ➤ الامتزاج على سطح جسيمات الأسمنت:

المحسنات الفائقة تحتوي على مجموعات كيميائية (مثل السلفونات أو الكربوكسيلات) تلتصق بأسطح حبيبات الأسمنت، وتكوّن طبقة رقيقة تمنع التصاق الحبيبات ببعضها البعض.

#### ➤ الشحنات السالبة والتنافر الكهروستاتيكي:

عند ارتباط المحسنات بجسيمات الأسمنت، تُكسبها شحنات سالبة. هذه الشحنات تجعل الحبيبات تتنافر فيما بينها، مما يؤدي إلى تفكيك التكتلات (Flocs) وتحسين انسيابية المزيج.

#### ➤ الحواجز الفراغية (Steric Hindrance):

خصوصاً في المحسنات الحديثة مثل البولي كربوكسيلات (PCEs)، تضاف سلاسل جانبية طويلة تعمل كحواجز فراغية تمنع تقارب الجسيمات مجدداً، مما يعزز الاستقرار طويل المدى للخلطة.

➤ تقليل الطلب على الماء:

بفضل هذه الآليات، تصبح الخلطة أكثر سيولة دون الحاجة إلى إضافة ماء إضافي، مما يحافظ على مقاومة الخرسانة ويزيد من كثافتها ومتانتها.

5-3- تأثير المحسنات الفائقة على تدفق الخرسانة ذاتية الدمك: [7]

✓ تقليل التماسك بين الجزيئات:

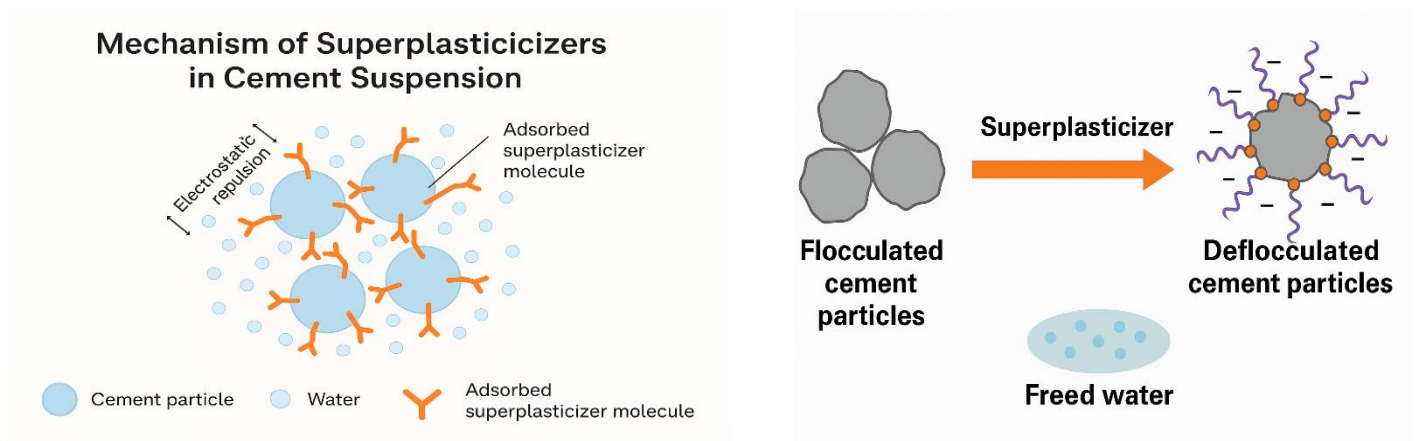
✓ جسيمات الأسمنت بطبيعتها تتكتل بسبب قوى "فان دير فالس" ، مما يمنع التدفق السلس.

✓ المحسنات الفائقة تمتص على سطح هذه الجسيمات وتُعطيها شحنة سالبة فتتأفر فيما بينها وتتكك التكتلات.

✓ زيادة السيولة بدون زيادة الماء: دون الحاجة لإضافة ماء أكثر (الذي يُضعف الخرسانة لاحقاً)، يحصل الخليط على انسيابية عالية جداً ، مما يُمكن الخرسانة من التدفق والتغلغل في القوالب وبين التسليح بسهولة.

- تجانس الخلطة: التوزيع المتساوي للمواد الناعمة داخل الخلطة يجعل الخرسانة أكثر استقراراً ويمنع فصل المكونات (Ségrégation) أو النزف المائي. (Bleeding)

- الحفاظ على القوة والمتانة: بما أن نسبة الماء لا تزداد، فتبقى الخلطة قوية جداً من ناحية الميكانيك والمتانة.



الشكل (II-2): يبيّن آلية عمل المحسنات الفائقة (Superplasticizers) على جسيمات الأسمنت [7]

## II-6- عوامل الزوجة:

اللزوجة تُعتبر من الخصائص المهمة في الخرسانة ذاتية التوضع ، حيث تلعب دوراً حاسماً في التحكم في سلوك الخرسانة أثناء الصب والحركة، وتحديدًا في مقاومة الفصل الحبيبي والحفاظ على تجانس الخلطة. تتأثر اللزوجة بعدة عوامل، أبرزها نسبة الماء إلى المواد الصلبة، حيث أن زيادة الماء تقلل اللزوجة وتزيد السيولة، في حين أن زيادة المواد الناعمة مثل الأسمنت أو الإضافات المعدنية ترفع اللزوجة. كما أن نوع وكمية الإضافات المعدنية مثل الدخان السيليسي أو الرماد المتطاير تؤثر بشكل مباشر على اللزوجة؛ فالبعض يزيدها بسبب نعومته العالية وامتصاصه للماء، والبعض قد يخففها. كذلك، تؤثر المدونات الفائقة في تقليل اللزوجة وتحسين التشغيلية، لكن استخدامها الزائد قد يؤدي إلى مشاكل مثل النزف المائي. وتُعتبر درجة حرارة الخلطة والزمن بعد الخلط من العوامل الديناميكية التي تزيد اللزوجة تدريجياً مع الوقت. وأخيراً، فإن شكل وملمس الحبيبات داخل الخليط، سواء كانت زاوية أو كروية، يساهم في تغيير مستوى اللزوجة من خلال تأثيره على الاحتكاك الداخلي بين الجزيئات. [7]

## 6-1- الخصائص وآليات العمل:

تُعتبر عوامل اللزوجة (VMA) مكونات أساسية في تركيبة الخرسانة ذاتية التوضع (BAP)، حيث تلعب دوراً مهماً في تعزيز تماسك الخليط ومنع الانفصال الحبيبي أثناء النقل أو الصب، خاصة عند استخدام نسب عالية من المحسنات الفائقة (Superplastifiants) التي قد تزيد من سيولة الخرسانة وتعرضها لخطر التسييل. تعمل عوامل اللزوجة من خلال امتصاص جزء من الماء الحر في العجينة، مما يزيد من اللزوجة الداخلية، ويؤدي إلى تكوين شبكة جزيئية دقيقة تُبقي الجزيئات الصلبة معلقة وتمنع ترسيبها. كما تساعد هذه المواد على تنظيم التدفق وتحقيق استقرار أكبر للخليط أثناء الحركة، مما يجعل الخرسانة أكثر تجانساً ويُحسن من مظهر سطحها النهائي. ومن خلال هذه الخصائص، تساهم عوامل اللزوجة في تحسين الأداء العام للخرسانة ذاتية التوضع والتأثير السلبي على قابليتها للتشغيل. [8]

## II-7- الماء المستعمل:

يُعتبر الماء الصالح للشرب هو المرجع الأساسي في تحضير الخرسانة، وذلك لتوفره وسهولة الحصول عليه من شبكات التوزيع العامة. ويُشترط أن يكون خالياً من الشوائب الضارة، حيث إن وجود كميات مفرطة من الشوائب يمكن أن يؤدي إلى تدهور خواص الخرسانة مثل مقاومة الضغط، المظهر الجمالي، وحتى تسريع تآكل حديد التسليح. وعند إضافته للخرسانة، يُقسّم الماء إلى ثلاث أجزاء رئيسية: جزء يُمتص من قبل الركام

(الامتصاص والامتزاج)، وجزء يُستهلك خلال تفاعل الإماهة، وجزء ثالث يبقى حراً داخل الخلطة وهو المسؤول عن سيولتها. هذه المياه الحرة تؤثر بشكل مباشر على تركيز المواد الصلبة في الخرسانة، مما ينعكس على خصائصها الريولوجية. فكلما زادت كمية الماء، ازدادت السيولة وقلّ تركيز المواد الصلبة، مما يؤدي إلى انخفاض اللزوجة وحد العتبة للقصّ. ورغم أن زيادة الماء تعزز قابلية التشغيل، إلا أن الإفراط فيها يضعف مقاومة الخرسانة في حالتها النهائية، ويؤدي إلى مشاكل مثل الانفصال الحبيبي والتشقّق في الحالة الطازجة. [9]

## II-8- التفاعلات بين المكونات:

في سوق المواد الخاصة بالخرسانة ذاتية التوضع، تتوفر تشكيلة واسعة من المكونات، حيث أن لكل مكون عدة أنواع أو عائلات تختلف خصائصها حتى داخل نفس المجموعة. أمام هذا التنوع، يكون من الضروري على المهندس أو المجرّب اختيار توليفة مناسبة من المكونات تضمن أداءً عاليًا للخرسانة مع مراعاة التكاليف والخصائص المطلوبة. ومع ذلك، فإن الدمج بين هذه المواد ليس دائماً أمراً بسيطاً، فقد تظهر مشكلات من التوافق أو التفاعلات غير المتوقعة. يمكن حل بعض حالات عدم التوافق بسهولة من خلال اختبارات أولية واستبدال المواد غير الملائمة. لكن حتى عند استخدام مواد متوافقة، قد تنشأ تفاعلات معقدة - إما تعزز أو تعيق الأداء، وغالباً ما يصعب كشف هذه التفاعلات. مثلاً، لاحظ "شين وآخرون" تفاعلات بين بعض الفيلرز والملدنات الفائقة، حيث يتأثر السلوك الريولوجي لعجينة الأسمنت ليس فقط بشكل وحجم الجزيئات، بل أيضاً بعلاقتها التفاعلية مع الملدنات. كما أظهرت دراسات أخرى أن نوع الأسمنت يصبح أكثر تأثيراً على قابلية التشغيل عندما يُضاف الملدن الفائق، مما يؤكد على أهمية فهم العلاقات المتبادلة بين المكونات. ولهذا السبب، أصبحت تقنيات "خطط التجارب" أداة فعالة لتحليل تفاعل المواد داخل الخلطة الخرسانية، عبر نماذج رياضية تربط خصائص الخليط بنسب المكونات بشكل دقيق، مما يسهل اتخاذ قرارات تصميم أفضل. [10]

## 8-1- تأثير المكونات على تركيبة الخرسانة ذاتية التوضع:

تمت في هذه الدراسة مراجعة شاملة لأدوار المكونات المؤثرة في تركيبة الخرسانة ذاتية التوضع (BAP)، حيث تم توضيح آليات تأثير كل مكون على سلوك الخليط، خاصة من ناحية الخواص الريولوجية (التدفق واللزوجة). كما تناولت المراجعة تأثير المعاملات الأساسية مثل نسبة الماء إلى الأسمنت، والتركيز الحجمي للمواد الصلبة، وغيرها، على قابلية تشغيل الخرسانة ومقاومتها للانفصال.

تم عرضها بشكل منظم في الجدول الموضح على شكل مخطط موجز يُظهر بوضوح العلاقة بين كل مكون ودوره في التكوين، إلى جانب تأثير زيادة كميته أو قيمته على الخصائص الريولوجية للخرسانة. [10]

الجدول (II-1): يبين تأثير المكونات على التركيبة الخرسانية [10]

المكون / المعامل الرئيسي	الدور الرئيسي في التركيبة	التأثير على اللزوجة وعزم القص
الماء	يعطي السيولة ويساعد في ترطيب الأسمنت (مرتبط بالتركيز الحجمي للمواد الصلبة ونسبة الماء/الأسمنت)	يقلل اللزوجة وعزم القص
الإسمنت	عنصر رابط، يؤثر على تركيز المواد الصلبة ونسبة الماء/الأسمنت	يزيد اللزوجة وعزم القص
التركيز الحجمي للمواد الصلبة	يزيد الاحتكاك بين الجزيئات ويؤثر على التدفق	يزيد اللزوجة وعزم القص
الركام (الرمال/الحصي)	يخفض تكلفة الخرسانة، يؤثر على الأداء الميكانيكي حسب نوعه	يختلف حسب النوع والتدرج
الإضافات المعدنية	تحسن الهيكل الحبيبي، وتقلل استخدام الأسمنت وتؤثر بيئياً	التأثير حسب نوع الإضافة (وقدرتها على امتصاص الماء)
الفيلر الجيري	يحسن التدفق عند جرعات محددة	يتغير حسب الجرعة (تحسين ثم زيادة في اللزوجة عند تجاوز الجرعة الحرجة)
الملدنات الفائقة	تفكيك التكتلات بين جزيئات الأسمنت، تعزز الانتشار والسيولة	تقلل اللزوجة وعزم القص
عوامل اللزوجة	تمنع الانفصال وتزيد التماسك في الخرسانة	تزيد اللزوجة لضمان الاستقرار

**II-9- الخلاصة :**

تطرقنا في هذا الفصل إلى أغلب المكونات المستعملة في الخرسانة ذاتية التوضع و التركيبه الكيميائيه لنوع من الاسمنت المعمول به و مدى تأثيره على تركيبه الاسمنت و كذا بعض أنواع الملدنات الفائقة و تأثير جميع المواد سواء الطبيعيه منها (الركام) و الكيميائيه على تشغيله الخرسانة ذاتية التوضع.

## الفصل الثالث

خصائص المواد المستعملة وصياغة الخرسانة

ذاتية التموضع

## خصائص المواد المستعملة و صياغة الخرسانة ذاتية التوضع

## III-1- / مقدمة

تعد مرحلة تصميم الخلطات الخرسانية ذاتية التوضع BAP من المراحل الأساسية التي تتطلب دراسة دقيقة لمكونات الخرسانة، وذلك نظرا لطبيعتها الخاصة التي تميزها عن الخرسانة التقليدية، تعتبر BAP قادرة على التدفق والانضغاط داخل القوالب وملء الفراغات المحيطة بالتسليح دون الحاجة إلى اهتزاز ميكانيكي، مما يستوجب تحقيق توازن مثالي بين قابلية التشغيل ومقاومة الانفصال الحبيبي.

يعتمد في تصميم هذا النوع من الخرسانة على زيادة كمية المسحوق (الاسمنت+الاضافات) واستعمال إضافات كيميائية فعالة، مثل الملدنات المتفوقة (Superplastifiants)، للتحكم في لزوجة الخلطة دون زيادة كمية الماء، مما يحسن خصائص الخرسانة الطرية و يقلل من المسامية في الخرسانة المتصلدة.

في هذه الدراسة، تم التركيز على تطوير خلطات خرسانية ذاتية التوضع باستعمال مواد نفايات محلية (مسحوق نفايات الأجر، مسحوق نفايات الرخام، مسحوق نفايات الزجاج، مسحوق نفايات الخرسانة) مسحوق رمال الكثبان. تهدف هذه المقاربة إلى تحقيق أهداف بيئية من خلال تقليل استخدام الموارد الطبيعية والاستفادة من نفايات البناء والهدم، مع الحفاظ على جودة ومتانة الخرسانة المنتجة.

يعد استخدام هذه المواد البديلة كإضافات بديلة عن الاسمنت ودراسة خصائصها الفيزيائية والكيميائية بدقة، لأنها قد تؤثر بشكل مباشر على أداء الخرسانة ذاتية التوضع في حالتها الطازجة (مثل الانسيابية، مقاومة الانفصال) وكذلك في حالتها المتصلدة (مثل مقاومة الضغط، الانكماش والمتانة) لذلك يخصص هذا الفصل لتوصيف جميع المواد المستعملة في الدراسة، بما في ذلك المواد التقليدية (الاسمنت، الماء، الركام) الإضافات الكيميائية، وذلك إستنادا إلى اختبارات معيارية مخبرية لضمان دقة النتائج وصحة المقارنات.

## III-2- / المواد المستخدمة:

( الركام ، الاسمنت ، الماء) محلية و طبيعية + بالنسبة للإضافات ( الرخام ، الطوب ، الزجاج ، الخرسانة ) هذه المكونات من المخلفات الإنشائية + رمل الكثبان محلي و طبيعي .

**ملاحظة :** بحكم أن الموضوع درس في العام الماضي تحت عنوان (دراسة تجريبية على الخرسانة ذاتية الدمك مع إضافة مخلفات البناء) و تعتبر الدراسة الحالية كتكملة للدراسة السابقة و يكمن التغيير في النسب

( نسبة المساحيق المضافة و اختلاف في كمية الإضافات الكيميائية) و مقارنتها مع بعضها البعض ، لذلك أخذنا نفس المواد المستخدمة في العام الماضي لكي يتسنى لنا المقارنة بين الدراستين ولا يكون اختلاف في نوعية المواد و تكون المقارنة و الدراسة سليمة أي على نفس المنهاج .

## 2-1/- الإسمنت:

هو مادة رابطة هيدروليكية على شكل مسحوق معدني ناعم ، يربط بوجود الماء و يشكل عجينة تتصلب تدريجيا في الهواء أو الماء .

الإسمنت المستخدم في الدراسة هو إسمنت من نوع NA442 CEM II /B-L42,5N من شركة LAFARGE في مسيلة ، و خصائصها الكيميائية و الفيزيائية وفقا للمعيار [32] EN 197-1 [33] NA442 et EN 197-1 .

الجدول (III-1): يعرض بعض خصائص الإسمنت. [3]

القيمة	التحليل الكيميائي
10.0±2	فقدان الإشعاع (NA 5042)(%)
2.5 ± 0.5	محتوى الكبريتات (SO3)(%)
1.7±0.5	محتوى أكسيد المغنيزيوم MgO (%)
0.02±0.05	محتو الكلوريد (NA 5042)(%)
القيمة	الخصائص الفيزيائية
2.0±26.5	القوام الطبيعي (%)
3700-5200	النعومة وفقا لطريقة بلين (cm/g)(NA 231)
< 1000	الانكماش عند 28 يوما (ميكرومتر)
≤ 3.0	التمدد (mm)
القيمة	وقت الضبط عند 20 درجة (NA 231)
30±150	بداية الضبط (بالدقيقة)
230± 50	نهاية الإعداد (بالدقائق)
القيمة	قوة الضغط
≥ 10.0	يومان (MPa)
≥ 42.5	28 يوما (MPa)
القيمة	التركيب المعدني للكلنكر
60±3	C3S(%)
7.5±1	C3A(%)

## 2-2/- الركام:

يتشكل الركام من ( الحصى ، الرمل ) و يعتبر الهيكل الأساسي للخرسانة و الركام المستخدم في الدراسة هو :

- الحصى (8/3 و 15/ 8 ) : من مقلع حوض الحمراء الواقع بين ورقلة و حاسي مسعود .
- رمل 5/0 من مقلع جامعة ولاية المغير على مستوى الطريق الوطني رقم 123 الذي يربط بين ولاية الوادي و جامعة .

**2-2-1- التحليل الحبيبي للركام وفق معيار (EN 933-1 و EN 933-2) :**

يعنى هذا الإجراء بتحديد التوزيع النسبي لأبعاد الحبيبات المكونة للعينة, وذلك باستخدام مجموعة من المناخل المتدرجة في فتحاتها, حيث ترتب المناخل فوق بعضها البعض بحيث تتناقص أبعاد الفتحات من الأعلى إلى الأسفل. توضع العينة قيد الاختبار على المنخل العلوي, و نتحصل على تصنيف الحبيبات عن طريق تعريض عمود المناخل للاهتزاز.

يعد مفهوم المنحنى الحبيبي ذا أهمية جوهرية , إذ يوفر معلومات تفصيلية حول حدود مقاسات الركام ونسبة كل فئة حجمية ضمنه, بالإضافة إلى مدى انتظام التدرج الحبيبي. فكلما أتم المنحنى بالانتظام, دل ذلك على تشكل هيكل حبيبي أكثر كثافة وتراسا, وهو ما ينعكس إجابة على خصائص الخرسانة وقابليتها للتشغيل.

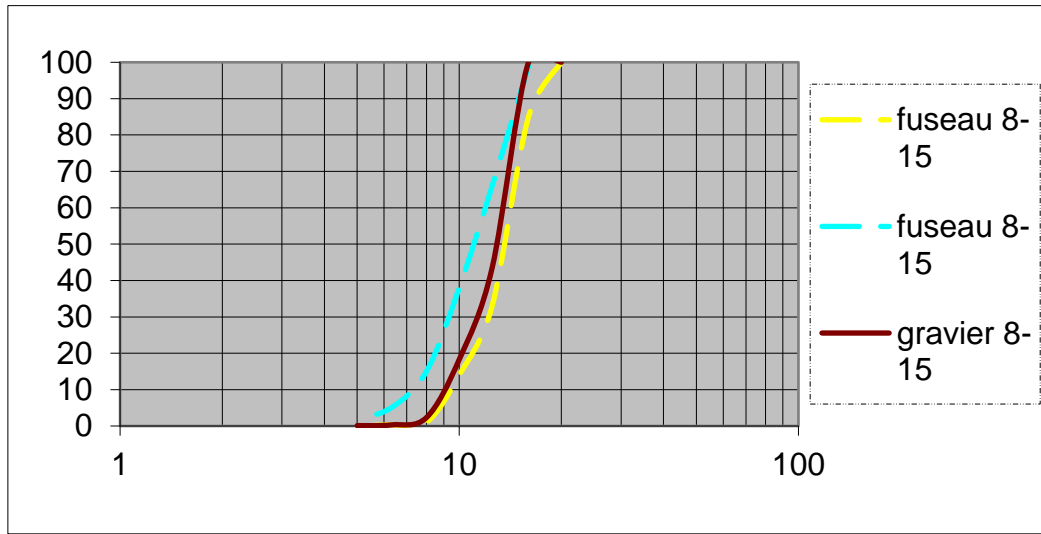


الشكل (III-1): عينات من الرمل (5/0) ، الحصى (8/3) ، الحصى (15/8) .

2-2 -2- نتائج اختبار للحصى 16/8 :

الجدول (III- 2) : التحليل الحبيبي للحصى 16/8 .

فتحات الغرابيل (mm)	كتلة المتبقي الجزئي (g)	كتلة المتبقي التراكمي (g)	المتبقي الجزئي (%)	المرات التراكمي (%)
16	0	0	0	100
12.5	2825	2825	56.5	43.5
10	1260	4085	81.7	18.3
8	800	4885	97.7	2.3
6.3	100	4985	99.7	0.3
5	10	4995	99.9	0.1



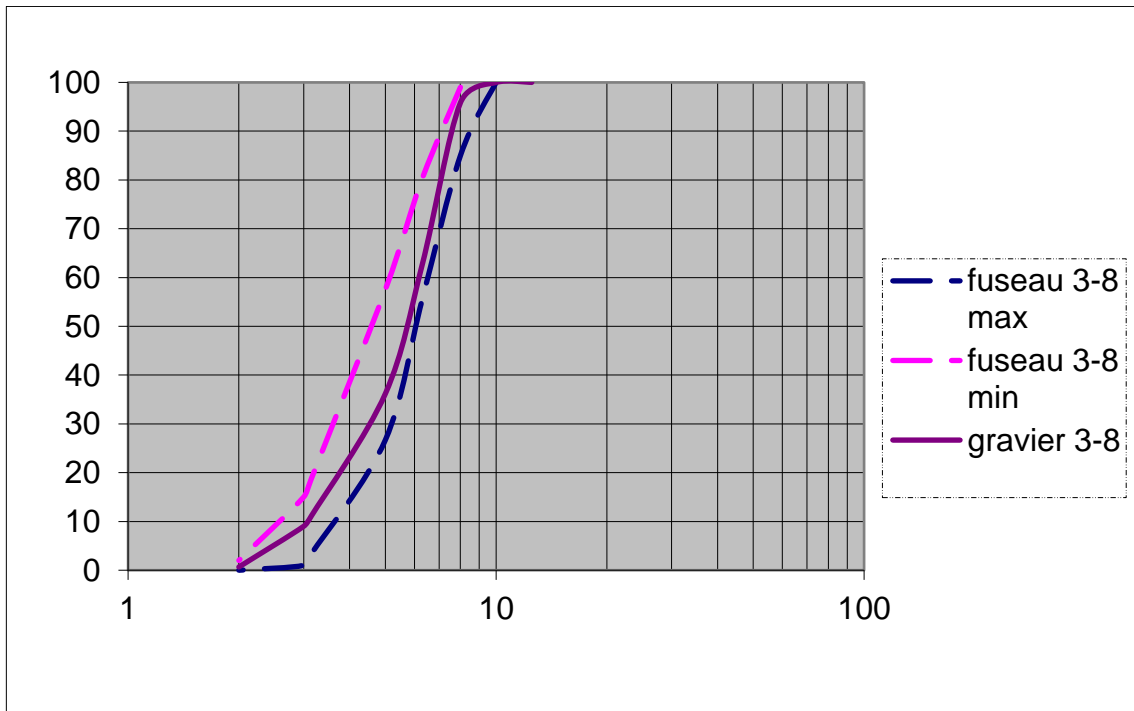
الشكل (III- 2) : منحنى التحليل الحبيبي للحصى 16/8 .

من خلال المنحنى يتبين أن نسبة كبيرة من المنحنى محصورة داخل غلاف التدرج ( Fuseau granulométrique ) و بالتالي الحصول على خصائص و مقاومة جيدة كما هو موضح في الشكل (III- 2) .

2 - 2 - 3- نتائج اختبار للحصى 8/3 :

الجدول (III - 3) : التحليل الحبيبي للحصى 8/3 .

فتحات الغربيل (mm)	كتلة المتبقي الجزئي (g)	كتلة المتبقي التراكمي (g)	المتبقي الجزئي (%)	المار التراكمي (%)
10	00	00	00	100
8	125	125	4.16	95.83
6.3	995	1120	37.33	62.66
5	795	1915	63.83	36.16
4	750	2665	88.83	11.16
2.5	65	2730	91	9
2	250.2	2980.2	99.34	0.66
1	15	2995.2	99.84	0.16



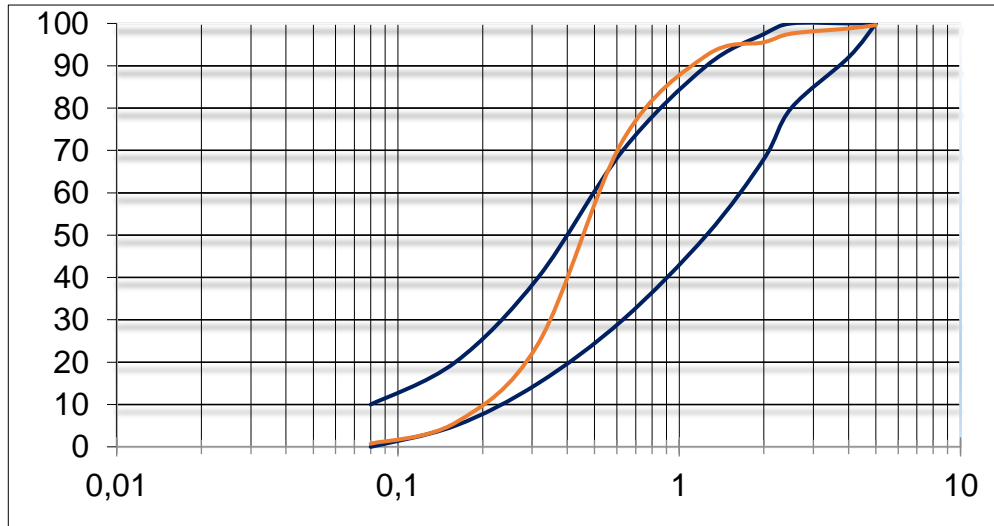
الشكل (III - 3) : منحنى التحليل الحبيبي للحصى 8/3 .

من خلال المنحنى يتبين أن نسبة كبيرة من المنحنى محصورة داخل غلاف التدرج ( Fuseau granulométrique ) و بالتالي الحصول على خصائص و مقاومة جيدة كما هو موضح في الشكل (III - 3) .

2 - 2 - 4- نتائج اختبار للرمل 5/0 :

الجدول (III - 4) : التحليل الحبيبي للرمل (5/0).

فتحات الغربيل (mm)	كتلة المتبقي الجزئي (g)	كتلة المتبقي التراكمي (g)	المتبقي الجزئي (%)	المار التراكمي (%)
5	8	8	0.4	99.6
4	10	18	0.9	99.1
2.5	30	48	2.4	97.6
2	13	61	3.05	96.95
1.25	90	151	7.55	92.45
1	84.4	235.4	11.77	88.23
0.63	317.6	553	27.65	72.35
0.315	960	1513	75.65	24.35
0.16	373	1886	94.3	5.7
0.08	99	1985	99.25	0.75



الشكل (III - 4) : منحنى التحليل الحبيبي للرمل (5/0) .

من خلال رسم المنحنى الحبيبي للرمل 5/0 تبين أن نسبة 65 % منه موجودة داخل المغزل و 35% خارج المغزل و يتميز بتوزيع حبيبي منتشر كما هو موضح في الشكل (III - 4) .

### 2-2-5- معامل نعومة الرمل: [2]

يعتبر حجم الرمل أمرا بالغ الأهمية , بحيث يؤثر بشكل مباشر على خصائصه وإستخدامه في الخلطات المختلفة, فإذا كان الرمل خشنا جدا أو ناعما أكثر من اللازم, فسيؤثر ذلك سلبا على جودة الخلطة ومتانتها.

لتحديد مدى دقة الرمل أو نعومته بدقة عن طريق حساب معامل الدقة (Mf) وهذا يتوافق مع مجموع النسب المئوية للرفض التراكمي للمناخيل (0.16,0.315,0.63,1.25,2.5,5).

أخيرا يستخدم معامل النعومة بشكل أساسي لتقييم مدى ملائمة الرمل للإستخدامات المختلفة, ويظهر هذا المعامل في الجدول (III - 5) .

#### الجدول (III - 5):معامل النعومة الرمل (5/0) .

المواصفات	الرمل (0/5)	الركام
Mf > 2,5 رمل خشن	2,08	معامل النعومة Mf
2 < Mf < 2,5 رمل متوسط		
1,5 < Mf < 2 رمل ناعم		
1 < Mf < 1,5 رمل ناعم جدا		

وفي الختام نلاحظ أن الرمل متوسط.

### 2-2-6- اختبار مكافئ الرمل (NF P18-598): [2]

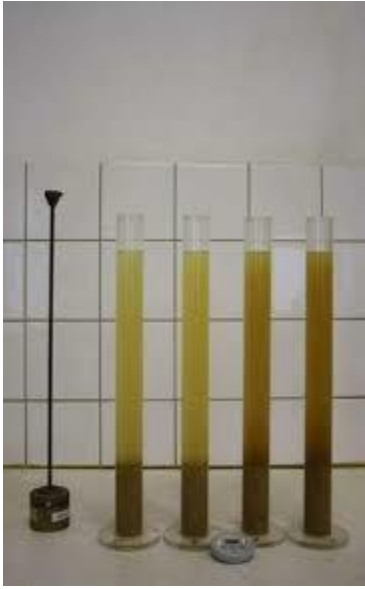
يهدف هذا الاختبار إلى تحديد جودة الرمل من خلال قياس نسبة الجزيئات الدقيقة الموجودة فيه. فقيمة مكافئ الرمل تعكس هذه النسبة بشكل مباشر.

إن عدم وجود كمية كافية من الجزيئات الدقيقة يعيق الحصول على خرسانة ذات قوام متماسك وعلى الجانب الأخر, فإن الزيادة المفرطة في هذه الجزيئات يؤثر سلبا على الخلطة الخرسانية, حيث يزيد من الحاجة الى الماء, مما يؤدي الى ارتفاع نسبة الماء الى الإسمنت وبالتالي ضعف مقاومة الخرسانة النهائية. [1]

الجدول (III - 6): نتائج اختبار المكافئ الرملي

المواصفات	الرمل (0/5)	الحبيبات
70 الى 80 لرمل مدور	82.20	مكافئ الرمل البصري (ESV) (%)
<65 رمل مكسر	74.15	مكافئ الرمل تحت تأثير مكبس (ESV) (%)

في الختام يمكننا القول أن الرمل مناسب.



الشكل (III - 5): جهاز الرج وأنابيب تجربة المكافئ الرملي

2-3/- ماء الخلط: [2]

استعملنا مياه الصنبور المتوفرة في الجامعة لإجراء عملية خلط الخرسانة خصائصها الفيزيائية و الكيميائية.

**2- 4/- المواد المساعدة ( المحسنات ) :**

الإضافات هي مواد تضاف إلى الخلطة الخرسانية أثناء عملية الخلط بكميات صغيرة جدا بغرض إعطاء الخرسانة الطازجة أو المتصلبة خواص معينة ومطلوبة .

لقد تم استخدام المحسن فائق متعدد الوظائف وعالي الكفاءة في تقليل نسبة المياه، وهو المنتج TEMPO-12 من المجموعة ViscoCrete TEMPO -12Sika ، يمكن هذا المضاف من إنتاج خرسانة تتميز بجودة فائقة من حيث المقاومة وقابلية التشغيل (السيولة، وبالإضافة إلى دوره الأساسي كمحسن فائق فإنه يسهم بشكل ملحوظ في خفض كمية المياه اللازمة في الخلطات الخرسانية.



الشكل (III - 6): نوع المحسن الفائقة المستعمل في الخلط .

الجدول (III - 8): بعض خصائص TEMPO-12[4]

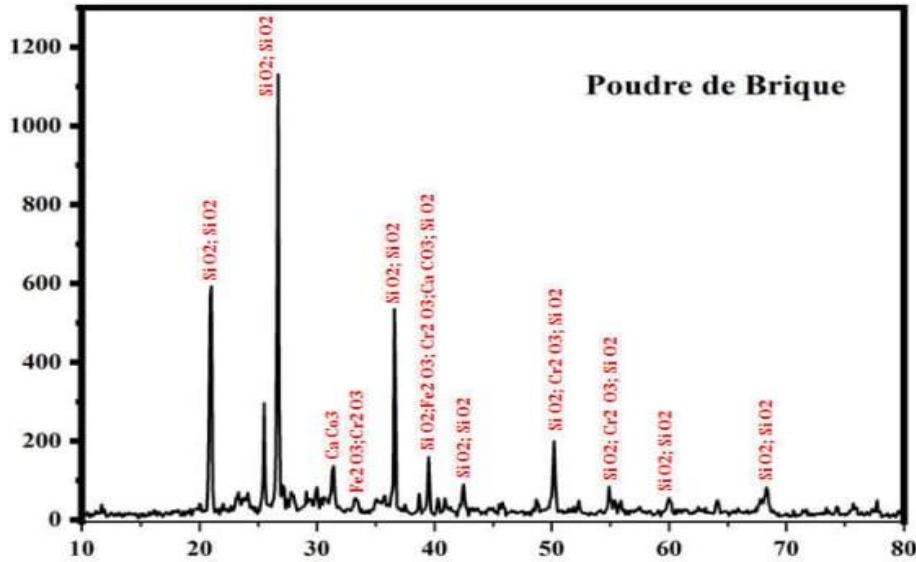
الميزة	الشكل	اللون	PH	الكثافة	محتوى الكلور	الجرعة الموصى بها
النتائج	سائل	بني فاتح إلى غامق	4.5±1.0	0.01±1.06	≤0.1%	0.5%a 2%

**2- 5/- المواد الناعمة :** المتمثلة في مخلفات البناء التي تم استخدامها كمواد ناعمة في الخلطات الخرسانية ، لتضاف بنسب مئوية من وزن الاسمنت ، في دراستنا استعملنا أربعة أنواع ماعدا رمال الكثبان التي تعتبر طبيعية .

**2- 5-1/- مسحوق نفايات الأجر:** تم الحصول عليها من ورشات البناء بعدها تم سحقها و طحنها إلى جزء حبيبي يقل عن 80 ميكرو متر .



الشكل (III-7): نفايات الأجر قبل و بعد عملية طحنها .



الشكل (III-8) : منحنى تحليل (DRX) لنفايات الأجر .

بناء على مقارنة وتحليل الرسم البياني السابق تتضح النتائج مفصلة في الجدول (III - 9).

الجدول (III - 9): التركيب الكيميائي لنفايات الأجر المسحوق.

النتيجة	الصيغة الكيميائية	اسم المركب
61	Si O2	أكسيد السيليسيون
36	K3 P O4	بوتاسيوم فوسفور
26	Ca Dy0.2 SO4	كبريتات ديسبروسيوم الكالسيوم

الجدول (III - 10): بعض خصائص نفايات الآجر المكسرة .

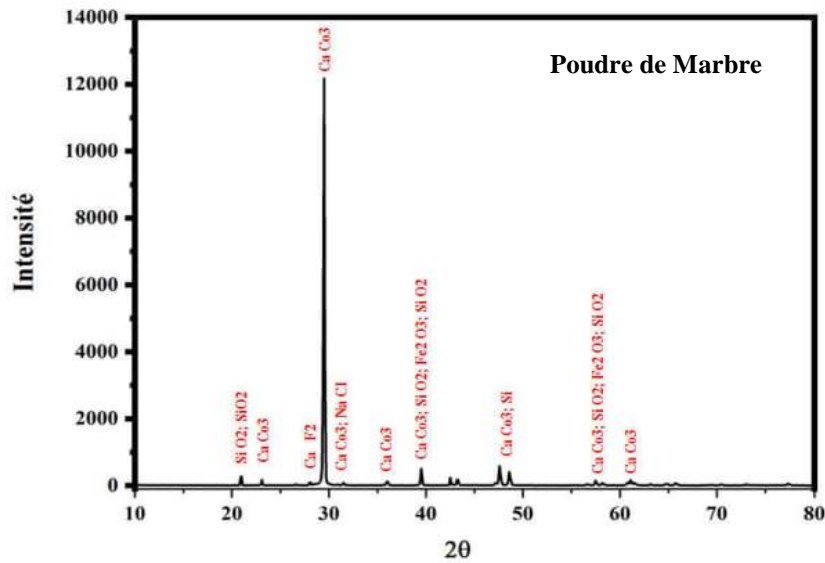
المميزات	الشكل	اللون	الكثافة المطلقة	الكثافة الظاهرية	الجرعة المستعملة في الخلطة I
النتائج	مسحوق	بنّي	2.59	1.104	%40

2-5-2- نفايات الرخام:

تم الحصول على بقايا الرخام من مواقع البناء حيث تم تكسيرها ثم تحويلها إلى مسحوق ناعم جدا بحجم حبيبات لا تتجاوز 80 ميكرومتر.



الشكل (III - 9): نفايات الرخام قبل و بعد عملية طحنها .



الشكل (III - 10) : منحنى تحليل (DRX) لنفايات الرخام .

بعد التحليل للرسم البياني المذكور أعلاه , يوضح هذا الجدول المكونات الكيميائية الرئيسية الموجودة في نفايات الرخام بعد طحنها. تشير النتائج إلى أن كربونات الكالسيوم هي المكون الأساسي بنسبة 55% يليها أكسيد الكالسيوم بنسبة 19%.

الجدول (III - 11): التركيب الكيميائي لنفايات الرخام المسحوق .

اسم المركب	الصيغة الكيميائية	النسبة
كربونات الكالسيوم	Ca(C O3)	55
أكسيد الكالسيوم	Ca O	19

الجدول (III - 12): خصائص نفايات الرخام المسحوق .

الخاصية	الشكل	اللون	الكثافة المطلقة (g/cm <sup>3</sup> )	الكثافة الظاهرية (g/cm <sup>3</sup> )	الجرعة المستعملة في الخلطة I
النتائج	مسحوق	ابيض	2.41	1.288	%15

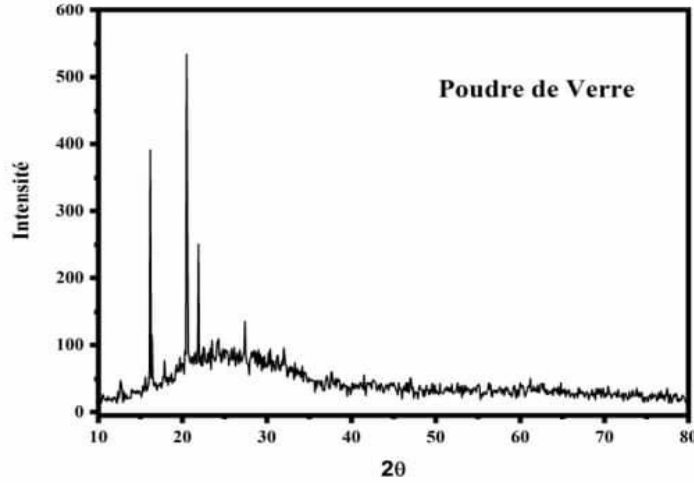
### 2-5-3- مسحوق نفايات الزجاج:

تم الحصول على هذه النفايات من ورشة بناء , حيث خضعت لعملية تكسير يدوي ثم طحن دقيق لإنتاج مسحوق بحجم حبيبات اقل من 80 ميكرومتر



الشكل (III - 11): نفايات الزجاج قبل و بعد عملية طحنها .

تم تحليل هذه العينة بتقنية حيود الأشعة السينية (DRX), كما هو موضح في الشكل (III - 12)



الشكل (III - 12) : منحنى التحليل ( DRX ) لنفايات الزجاج .

بعد التحليل للمخطط البياني تتضح النتائج الموضحة في الجدول (III - 13).

الجدول (III - 13): التالي التركيب الكيميائي لنفايات الزجاج المسحوق.

النتيجة	الصيغة الكيميائية	اسم المركب
58	Na	الصوديوم
38	Si O2	أكسيد السيليكون

الجدول (III - 14): بعض خصائص نفايات الزجاج المسحوق.

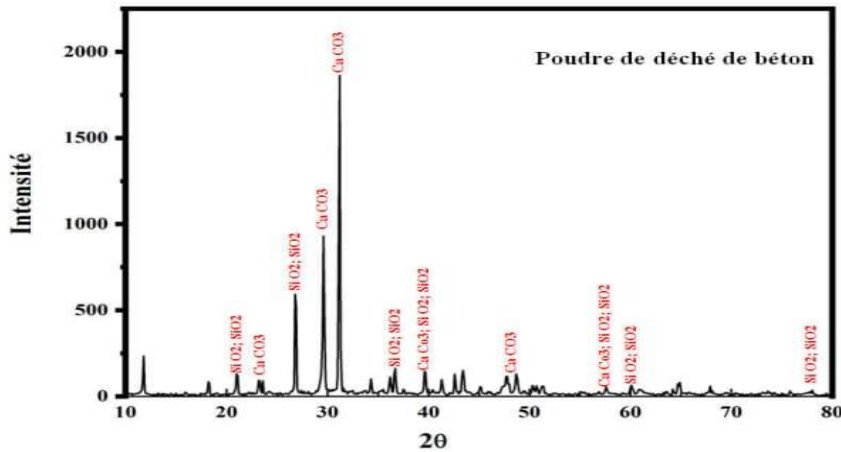
الميزة	الشكل	اللون	الكثافة المطلقة (g/cm <sup>3</sup> )	الكثافة الظاهرية (g/cm <sup>3</sup> )	الجرعة المستعملة في الخلطة I
النتائج	مسحوق	ابيض	2.295	1.112	%15

2-5-4- مسحوق نفايات الخرسانة:

تم الحصول عليها من ورشات البناء بعدها تم سحقها و طحنها إلى جزء حبيبي يقل عن 80 ميكرو متر .



الشكل (III-13): نفايات الخرسانة قبل و بعد عملية طحنها .



الشكل (III-14) : منحنى التخليط ( DRX ) لنفايات الخرسانة .

بعد التحليل للمخطط البياني تتضح النتائج الموضحة في الجدول (III - 15).

الجدول (III - 15): التركيب الكيميائي لنفايات الخرسانة

النتيجة	الصيغة الكيميائية	اسم المركب
45	Ca(C O3)	أكسيد الكالسيوم
41	Si O2	أكسيد السيلسيوم
34	Ca Mg (C O3)	كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم

الجدول (III - 16): بعض خصائص مسحوق نفايات الخرسانة .

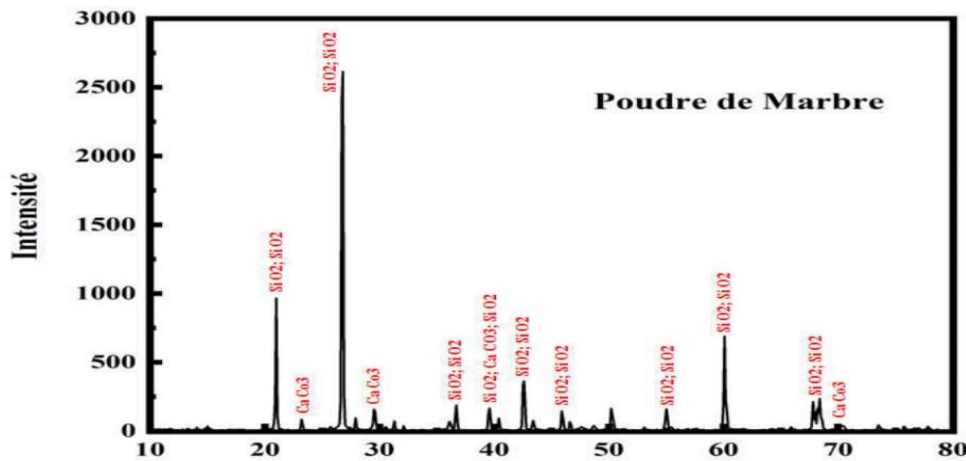
الميزة	الشكل	اللون	الكثافة المطلقة (g/cm <sup>3</sup> )	الكثافة الظاهرية (g/cm <sup>3</sup> )	الجرعة المستعملة في الخلطة I
النتائج	مسحوق	رمادي	2.641	1.264	%15

2-5-5- /- مسحوق رمال الكثبان :

تم الحصول عليها من منطقة الوادي التي تتميز برمالها الكثيفة بعدها تم سحقها و طحنها إلى جزء حبيبي يقل عن 80 ميكرو متر .



الشكل (III-15) : رمال الكثبان قبل و بعد عملية طحنها .



الشكل (III-16) : منحنى التحليل (DRX) لمسحوق رمال الكثبان .

بعد دراسة وتحليل المخطط أعلاه تتضح النتائج الموضحة في الجدول (III-17).

**الجدول(III-17): التركيب الكيميائي لمسحوق رمال الكثبان .**

النتيجة	الصيغة الكيميائية	اسم المركب
70	Si O2	أكسيد السيليسيون
36	Ca(C O3)	كربونات الكالسيوم

**الجدول(III-18): بعض خصائص مسحوق رمال الكثبان.**

الجرعة المستعملة في الخلطة I	الكثافة الظاهرية (g/cm <sup>3</sup> )	الكثافة المطلقة (g/cm <sup>3</sup> )	اللون	الشكل	الميزة
%40	1.44	2.37	بيج	مسحوق	النتائج

**2-5-5-1/- الكثافة المطلقة والظاهرية (NF P 18-554 و NF P 18-555):**

الكتلة الحجمية الظاهرية هي النسبة بين وزن العينة الكلي على الحجم الكلي و تعطى بالعلاقة التالية :

$$\rho_{app} = \frac{M_T}{V_T} \dots\dots\dots(3.1)$$

$\rho_{app}$  : الكتلة الحجمية الظاهرية .

$M_T$  : وزن العينة الكلي.

$V_T$  : حجم العينة الكلي .

الكتلة الحجمية المطلقة هي النسبة بين وزن الحبيبات الصلبة على حجم الحبيبات الصلبة و تعطى بالعلاقة التالية :

$$\rho_{ab} = \frac{M_s}{V_s} \dots\dots\dots(3.2)$$

$\rho_{ab}$  : الكتلة الحجمية المطلقة .

$M_s$  : وزن الحبيبات الصلبة.

$V_s$  : حجم الحبيبات الصلبة.

الجدول (III-19): الكثافة الظاهرية والمطلقة للمواد المستعملة.

الركام	رمل (0/5)	حصى (3/8)	حصى (8/15)	الأجر	الرخام	الزجاج	الخرسانة	رمال الكثبان
الكثافة المطلقة (g/cm <sup>3</sup> )	2.44	2.58	2.63	2.59	2.41	2.29	2.64	2.37
الكثافة الظاهرية (g/cm <sup>3</sup> )	1.60	1.33	1.32	1.10	1.28	1.11	1.26	1.44

III-3- صياغة الخرسانة ذاتية التوضع :

تعتبر صياغة الخرسانة ذاتية التوضع عملية معقدة تتطلب إيجاد مزيج جيد من المواد المستخدمة و الجرعات المناسبة لكل من مكوناتها و هذا من أجل الحصول على تركيبة تلبى خصائصها ( السيولة ، التجانس) ، بحيث تم تصميم معظم طرق الصياغة حالياً تجريبياً .  
تعتبر طريقة Dreux-Gorisse غير مناسبة لأنها لا تأخذ الإضافات الكيميائية بالاعتبار، بينما تعتبر هذه المكونات أساسية في الخرسانة ذاتية التوضع ، و بالتالي فإن صياغتها تعتمد على الخبرة المكتسبة.  
بعض نسب مكونات المواد المستخدمة بشكل واسع :

- نسبة  $G/S = 1.2$  .

- نسبة  $E/C = 0.5$  .

- تركيز الاسمنت 400 كلغ / م<sup>3</sup> .

- حجم الهواء A حوالي 0.5 % ( و تم تحديده بالطريقة الجزافية).

- تحديد النسبة المئوية للإضافات ( الإضافات الكيميائية ) ، الإضافات الناعمة ( مسحوق نفايات الخرسانة ، مسحوق الرخام ، مسحوق نفايات الزجاج ، مسحوق نفايات الأجر ، مسحوق رمال الكثبان ) و ذلك عن طريق التجربة .

لتمكين مقارنة أداء الخرسانة دون التأثير على الاسمنت تم تحديد كمية الاسمنت عند تركيز 400 كلغ/ م<sup>3</sup> ، وكذلك تم تثبيت نسبة الماء عند 0.5 لجميع أنواع الخرسانة التي تم اختبارها .

الجدول(III-20): يوضح نسب المواد الناعمة المستعملة في الخلطات

نسبة مسحوق نفايات الأجر	نسبة مسحوق نفايات الرخام	نسبة مسحوق نفايات الزجاج	نسبة مسحوق نفايات الخرسانة	نسبة مسحوق رمال الكثبان	نوع المسحوق المستخدم في الخلطة
BAP <sub>1</sub>	BAP <sub>2</sub>	BAP <sub>3</sub>	BAP <sub>4</sub>	BAP <sub>5</sub>	رمز تسمية الخلطة
% 40	% 15	% 15	% 15	% 40	الخلطة رقم : I
BAP' <sub>1</sub>	BAP' <sub>2</sub>	BAP' <sub>3</sub>	BAP' <sub>4</sub>	BAP' <sub>5</sub>	رمز تسمية الخلطة
% 25	% 25	% 25	% 25	% 15	الخلطة رقم : II

الجدول(III-21): يوضح كمية الإضافات الكيميائية المستعملة في الخلطات من الاسمنت

نسبة مسحوق نفايات الأجر Br	نسبة مسحوق نفايات الرخام Mr	نسبة مسحوق نفايات الزجاج Vr	نسبة مسحوق نفايات الخرسانة Be	نسبة مسحوق رمال الكثبان Sa	نوع المسحوق المستخدم في الخلطة
BAP <sub>1</sub>	BAP <sub>2</sub>	BAP <sub>3</sub>	BAP <sub>4</sub>	BAP <sub>5</sub>	رمز تسمية الخلطة
1.12	0.67	1.02	0.5	0.69	الخلطة رقم : I كمية الإضافات الكيميائية
BAP' <sub>1</sub>	BAP' <sub>2</sub>	BAP' <sub>3</sub>	BAP' <sub>4</sub>	BAP' <sub>5</sub>	رمز تسمية الخلطة
1.105	0.66	1.06	0.58	0.66	الخلطة رقم : II كمية الإضافات الكيميائية

3-1-1- الخطة رقم I:

3-1-1-1- صياغة الخرسانة ذاتية التوضع باستخدام مسحوق نفايات الأجر (BAP) ( 40% ) :

المكونات المستخدمة في م<sup>3</sup> :

- ضبط تركيز مسحوق نفايات الأجر عند نسبة 40 % من الاسمنت ، و تركيز

$$\text{الاسمنت} = 400 \text{ كلغ/م}^3$$

$$\text{بحيث ( تركيز الاسمنت / كثافة الاسمنت )} \leftarrow 129.03 \text{ L} = 3.1 / 400$$

$$\text{إذن كمية الأجر : } 51.61 \text{ L} = 129.03 \times 40\%$$

ضبط تركيز الإضافات الكيميائية من الاسمنت 1.12 % :

$$\text{الحصى G} + \text{الرمل S} + \text{الاسمنت C} + \text{الهواء A} + \text{الماء E} + \text{الإضافات الناعمة ( مسحوق نفايات الأجر )} \\ = 1000 \text{ L} \dots\dots\dots (01)$$

لدينا :

$$\bullet \text{ نسبة الهواء} = 5 \text{ لتر/م}^3 .$$

$$\bullet \text{ } E = 200 \leftarrow E / C = 0.5 \text{ لتر/م}^3 .$$

بالتعويض في المعادلة رقم 01 :

$$\text{الحصى } G + S = 1000 - 129.03 - 200 - 5 - 51.61$$

$$\text{الحصى } G + S = 614.36$$

$$279.25 = 2.2 / 614.36 = S \quad \left\{ \begin{array}{l} G/S = 1.2 \bullet \\ G + S = 614.36 \bullet \end{array} \right.$$

$$G + 279.25 = 614.36 \leftarrow G = 335.11$$

$$\text{نستخدم } 3/1 \text{ من الحصى } (8/3) \text{ L} = 111.70$$

$$\text{نستخدم } 3/2 \text{ من الحصى } (16/8) \text{ L} = 223.4$$

تركيز الإضافات الكيميائية من الاسمنت 1.12 % .

**ملاحظة :** نتبع نفس الخطوات لتحديد الكميات بالنسبة لـ الخلطة رقم : II .

**الجدول(III-22) :** مكونات خرسانة ذاتية التوضع مع إضافة مسحوق نفايات الأجر 40% .

نوع الخلطة	المكونات	كمية المكونات (لتر / م <sup>3</sup> )	الكثافة المطلقة	كمية المكونات (كلغ / م <sup>3</sup> )
I : الخلطة رقم I	الاسمنت	129.03	3.1	400
	مسحوق نفايات الأجر (Br) 40%	51.61	2.59	133.67
	الرمل (5/0)	279.25	2.44	681.37
	الحصى (8/3)	111.70	2.58	288.18
	الحصى (16/8)	223.41	2.63	587.56
	الماء	200	1	200
	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	1.12	1.06	1.19
II : الخلطة رقم II	الاسمنت	129.03	3.1	400
	مسحوق نفايات الأجر (Br) 25%	32.25	2.59	83.53
	الرمل (5/0)	288.05	2.44	702.84
	الحصى (8/3)	115.22	2.58	297.27
	الحصى (16/8)	230.44	2.63	606.06
	الماء	200	1	200
	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	1.105	1.06	1.17

**3-1-2/- صياغة الخرسانة ذاتية التوضع باستخدام مسحوق نفايات الرخام (BAP) 2 ( 15% :**

المكونات المستخدمة في م<sup>3</sup> :

- ضبط تركيز مسحوق نفايات الرخام عند نسبة 15 % من الاسمنت ، و تركيز الاسمنت = 400 كلغ/م<sup>3</sup>

بحيث ( تركيز الاسمنت / كثافة الاسمنت ) ← 3.1 / 400 = 129.03 لتر/ م<sup>3</sup>

إذن كمية الرخام : 15 % 129.03 x لتر/ م<sup>3</sup> = 19.35 .

- ضبط تركيز الإضافات الكيميائية من الاسمنت 0.67 % :

الحصى G+ الرمل S+ الاسمنت C + الهواء A + الماء E+الإضافات الناعمة ( مسحوق نفايات

الرخام ) = 1000 لتر ..... (01)

لدينا :

• نسبة الهواء = 5 لتر/ م<sup>3</sup> .

• E = 200 ← E/C = 0.5 لتر/ م<sup>3</sup> .

بالتعويض في المعادلة رقم 01 :

$$G+ S = 1000 - 129.03 - 200 - 5 - 19.35$$

الحصى G+ الرمل S = 646.62 لتر/ م<sup>3</sup> .

$$\left\{ \begin{array}{l} \bullet \quad 1.2 = G/S \\ \bullet \quad G + S = 646.62 \text{ لتر/ م}^3 \end{array} \right. \Rightarrow 2.2 / 646.62 = S = 293.92 \text{ لتر / م}^3$$

$$G = 352.70 \leftarrow G + 293.92 = 646.62 \text{ لتر / م}^3$$

نستخدم 3/1 من الحصى (8/3) = 117.56 لتر / م<sup>3</sup>

نستخدم 3/2 من الحصى (16/8) = 235.14 لتر / م<sup>3</sup>

تركيز الإضافات الكيميائية من الاسمنت 0.67 % .

**ملاحظة :** نتبع نفس الخطوات لتحديد الكميات بالنسبة لـ الخلطة رقم : II .

الجدول(III-23): مكونات خرسانة ذاتية التوضع مع إضافة مسحوق نفايات الرخام .

نوع الخلطة	المكونات	كمية المكونات (لتر/ م <sup>3</sup> )	الكثافة المطلقة	كمية المكونات (كلغ/ م <sup>3</sup> )
الخلطة رقم : I	الاسمنت	129.03	3.1	400
	مسحوق نفايات الرخام %15(Mr)	19.35	2.41	46.63
	الرمل (5/0)	293.92	2.44	717.16
	الحصى (8/3)	117.56	2.58	303.30
	الحصى (16/8)	235.14	2.63	618.42
	الماء	200	1	200
	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	0.67	1.06	0.71
الخلطة رقم : II	الاسمنت	129.03	3.1	400
	مسحوق نفايات الرخام %25(Mr)	32.25	2.41	77.72
	الرمل (5/0)	288.05	2.44	702.84
	الحصى (8/3)	115.22	2.58	297.27
	الحصى (16/8)	230.45	2.63	606.08
	الماء	200	1	200
	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	0.66	1.06	0.70

**3-1-3- صياغة الخرسانة ذاتية التوضع باستخدام مسحوق نفايات الزجاج (BAP) ( 15% ):**

المكونات المستخدمة في م<sup>3</sup> :

- ضبط تركيز مسحوق نفايات الزجاج عند نسبة 15 % من الاسمنت ، و تركيز الاسمنت = 400 كلغ/م<sup>3</sup>

بحيث ( تركيز الاسمنت / كثافة الاسمنت ) ←  $3.1 / 400 = 129.03$  لتر/ م<sup>3</sup>

إذن كمية الزجاج : 15 %  $129.03 \times 15 = 19.35$  لتر/ م<sup>3</sup> .

- ضبط تركيز الإضافات الكيميائية من الاسمنت 1.02 % :

الحصى G + الرمل S + الاسمنت C + الهواء A + الماء E + الإضافات الناعمة ( مسحوق نفايات

الزجاج ) = 1000 لتر ..... (01)

لدينا :

• نسبة الهواء = 5 لتر/ م<sup>3</sup> .

•  $E = 200$  ←  $E / C = 0.5$  لتر/ م<sup>3</sup> .

بالتعويض في المعادلة رقم 01 :

الحصى G + الرمل S =  $1000 - 129.03 - 200 - 5 - 19.35$

الحصى G + الرمل S =  $646.62$  لتر/ م<sup>3</sup> .

•  $G / S = 1.2$  .  
 •  $G + S = 646.62$  لتر/ م<sup>3</sup> .  
 $293.92 = 2.2 / 646.62 = S$  لتر / م<sup>3</sup>

$G = 352.70$  ←  $G + 293.92 = 646.62$  لتر / م<sup>3</sup>

نستخدم 3/1 من الحصى (8/3) =  $117.56$  لتر / م<sup>3</sup>

نستخدم 3/2 من الحصى (16/8) =  $235.14$  لتر / م<sup>3</sup>

تركيز الإضافات الكيميائية من الاسمنت 1.02 % .

**ملاحظة :** نتبع نفس الخطوات لتحديد الكميات بالنسبة لـ الخلطة رقم : II .

الجدول(III-24): مكونات خرسانة ذاتية التوضع مع إضافة مسحوق نفايات الزجاج .

نوع الخلطة	المكونات	كمية المكونات (لتر/ م <sup>3</sup> )	الكثافة المطلقة	كمية المكونات (كلغ/ م <sup>3</sup> )
الخلطة رقم : I	الاسمنت	129.03	3.1	400
	مسحوق نفايات الزجاج %15 (Vr)	19.35	2.29	44.31
	الرمل (5/0)	293.92	2.44	717.16
	الحصى (8/3)	117.56	2.58	303.30
	الحصى (16/8)	235.14	2.63	618.42
	الماء	200	1	200
	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	1.02	1.06	1.08
الخلطة رقم : II	الاسمنت	129.03	3.1	400
	مسحوق نفايات الزجاج %25(Vr)	32.25	2.29	74.08
	الرمل (5/0)	288.05	2.44	702.84
	الحصى (8/3)	115.22	2.58	297.27
	الحصى (16/8)	230.45	2.63	606.08
	الماء	200	1	200
	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	1.06	1.06	1.12

**3-1-4/- صياغة الخرسانة ذاتية التوضع باستخدام مسحوق نفايات الخرسانة (BAP) ( 15%):**

المكونات المستخدمة في م<sup>3</sup> :

- ضبط تركيز مسحوق نفايات الخرسانة عند نسبة 15 % من الاسمنت ، و تركيز الاسمنت = 400 كلغ/م<sup>3</sup>

بحيث ( تركيز الاسمنت / كثافة الاسمنت ) ←  $3.1 / 400 = 129.03$  لتر/ م<sup>3</sup>

إذن كمية نفايات الخرسانة : 15 %  $129.03 \times$  لتر/ م<sup>3</sup> = 19.35 .

- ضبط تركيز الإضافات الكيميائية من الاسمنت 0.5 % :

الحصى +G الرمل +S +الاسمنت C + الهواء A + الماء E +الإضافات الناعمة ( مسحوق نفايات

الخرسانة ) = 1000 لتر ..... (01)

لدينا :

• نسبة الهواء = 5 لتر/ م<sup>3</sup> .

•  $E = 200$  ←  $E/C = 0.5$  لتر/ م<sup>3</sup> .

بالتعويض في المعادلة رقم 01 :

الحصى +G الرمل  $S = 1000 - 129.03 - 200 - 5 - 19.35$

الحصى +G الرمل  $S = 646.62$  لتر/ م<sup>3</sup> .

•  $G/S = 1.2$  .  
•  $G + S = 646.62$  لتر/ م<sup>3</sup> .

$G = 352.70$  ←  $G + 293.92 = 646.62$  لتر/ م<sup>3</sup>

نستخدم 3/1 من الحصى (8/3) = 117.56 لتر/ م<sup>3</sup>

نستخدم 3/2 من الحصى (16/8) = 235.14 لتر/ م<sup>3</sup>

تركيز الإضافات الكيميائية من الاسمنت 0.50 % .

**ملاحظة :** نتبع نفس الخطوات لتحديد الكميات بالنسبة لـ الخلطة رقم : II .

الجدول(III-25): مكونات خرسانة ذاتية التوضع مع إضافة مسحوق نفايات الخرسانة .

نوع الخلطة	المكونات	كمية المكونات (لتر/ م <sup>3</sup> )	الكثافة المطلقة	كمية المكونات (كلغ/ م <sup>3</sup> )
الخلطة رقم I :	الاسمنت	129.03	3.1	400
	مسحوق نفايات الخرسانة %15 (Be)	19.35	2.64	51.08
	الرمل (5/0)	293.92	2.44	717.16
	الحصى (8/3)	117.56	2.58	303.30
	الحصى (16/8)	235.14	2.63	618.42
	الماء	200	1	200
	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	0.50	1.06	0.53
الخلطة رقم II :	الاسمنت	129.03	3.1	400
	مسحوق نفايات الخرسانة %25(Be)	32.25	2.64	85.14
	الرمل (5/0)	288.05	2.44	702.84
	الحصى (8/3)	115.22	2.58	297.27
	الحصى (16/8)	230.45	2.63	606.08
	الماء	200	1	200
	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	0.58	1.06	0.61

**3-1-5/- صياغة الخرسانة ذاتية التوضع باستخدام مسحوق رمال الكثبان (BAP) 40% :**

المكونات المستخدمة في م<sup>3</sup> :

- ضبط تركيز مسحوق رمال الكثبان عند نسبة 40 % من الاسمنت ، و تركيز الاسمنت = 400 كلغ/م<sup>3</sup>

بحيث ( تركيز الاسمنت / كثافة الاسمنت ) ←  $3.1 / 400 = 129.03$  لتر/ م<sup>3</sup>

إذن كمية رمال الكثبان : 40 %  $129.03 \times$  لتر/ م<sup>3</sup> = 51.61 .

- ضبط تركيز الإضافات الكيميائية من الاسمنت 0.69 % :

الحصى +G الرمل +S +الاسمنت C + الهواء A + الماء E +الإضافات الناعمة ( مسحوق رمال

الكثبان ) = 1000 لتر ..... (01)

لدينا :

• نسبة الهواء = 5 لتر/ م<sup>3</sup> .

•  $E = 200$  ←  $E/C = 0.5$  لتر/ م<sup>3</sup> .

بالتعويض في المعادلة رقم 01 :

الحصى +G الرمل  $S = 1000 - 129.03 - 200 - 5 - 51.61$

الحصى +G الرمل  $S = 614.36$  لتر/ م<sup>3</sup> .

$$\left\{ \begin{array}{l} G/S = 1.2 \\ G + S = 614.36 \text{ لتر / م}^3 \end{array} \right.$$

$G = 335.11$  ←  $G + 279.25 = 614.36$  لتر / م<sup>3</sup>

نستخدم 3/1 من الحصى (8/3) = 111.70 لتر / م<sup>3</sup>

نستخدم 3/2 من الحصى (16/8) = 223.41 لتر / م<sup>3</sup>

تركيز الإضافات الكيميائية من الاسمنت 0.69 % .

**ملاحظة :** نتبع نفس الخطوات لتحديد الكميات بالنسبة لـ الخلطة رقم : II .

الجدول(III-26): مكونات خرسانة ذاتية التوضع مع إضافة مسحوق رمال الكثبان .

نوع الخلطة	المكونات	كمية المكونات (لتر/ م <sup>3</sup> )	الكثافة المطلقة	كمية المكونات (كلغ/ م <sup>3</sup> )
الخلطة رقم : I	الاسمنت	129.03	3.1	400
	مسحوق رمال الكثبان (Sa) %40	51.61	2.37	122.31
	الرمال (5/0)	279.25	2.44	681.37
	الحصى (8/3)	111.70	2.58	288.19
	الحصى (16/8)	223.41	2.63	587.56
	الماء	200	1	200
	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	0.69	1.06	0.73
الخلطة رقم : II	الاسمنت	129.03	3.1	400
	مسحوق رمال الكثبان (Sa) %15	19.35	2.37	45.86
	الرمال (5/0)	293.92	2.44	717.16
	الحصى (8/3)	117.57	2.58	303.33
	الحصى (16/8)	235.13	2.63	618.40
	الماء	200	1	200
	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	0.66	1.06	0.70

ملخص تركيب مكونات الخرسانة في الجدول(III- 27) و الجدول(III- 28) أدناه

الجدول(III-27): كمية مختلف مكونات الخرسانة للخلطة رقم الكل 1 م<sup>3</sup> .

تسمية نوع الخلطة					المكونات ( كلغ / م <sup>3</sup> )	الخلطة رقم : I
BAP1	BAP2	BAP3	BAP4	BAP5		
400	400	400	400	400	الاسمنت	
681.37	717.16	717.16	717.16	681.37	الرمل (5/0)	
288.18	303.30	303.30	303.30	288.19	الحصى (8/3)	
587.56	618.42	618.42	618.42	587.56	الحصى (16/8)	
200	200	200	200	200	الماء	
1.19	0.71	1.08	0.53	0.73	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	
133.67	/	/	/	/	مسحوق الأجر 40%	
/	46.63	/	/	/	مسحوق الرخام 15%	
/	/	44.31	/	/	مسحوق الزجاج 15%	
/	/	/	51.08	/	مسحوق نفايات الخرسانة 15%	
/	/	/	/	122.31	مسحوق رمال الكثبان 40%	

الجدول(III-28) : كمية مختلف مكونات الخرسانة للخلطة رقم الكل 1 م<sup>3</sup>.

تسمية نوع الخلطة					المكونات ( كلغ / م <sup>3</sup> )	الخلطة رقم : II
BAP' <sub>1</sub>	BAP' <sub>2</sub>	BAP' <sub>3</sub>	BAP' <sub>4</sub>	BAP' <sub>5</sub>		
400	400	400	400	400	الاسمنت	
702.84	702.84	702.84	702.84	717.16	الرمل (5/0)	
297.27	297.27	297.27	297.27	303.33	الحصى (8/3)	
606.06	606.08	606.08	606.08	618.40	الحصى (16/8)	
200	200	200	200	200	الماء	
1.17	0.70	1.12	0.61	0.70	الإضافات الكيميائية Superplastifiant	
83.53	/	/	/	/	مسحوق الأجر 25%	
/	77.72	/	/	/	مسحوق الرخام 25%	
/	/	74.08	/	/	مسحوق الزجاج 25%	
/	/	/	85.14	/	مسحوق نفايات الخرسانة 25%	
/	/	/	/	45.86	مسحوق رمال الكثبان 15%	

## III-4-الخلاصة :

طريقة صياغة الخرسانة ذاتية التوضع تعتبر لحد الآن مصممة تجريبيا ، و هذا اعتمادا على طابعها في الحالة الطازجة يمكننا الحكم على الصيغة مقبولة أو لا .

كما اعتمدنا على نسب مكونات المواد المستخدمة بشكل واسع :

- نسبة  $G/S = 1.2$  .

- نسبة  $E/C = 0.5$  .

- تركيز الاسمنت 400 كلغ / م<sup>3</sup> .

- حجم الهواء A حوالي 0.5 % (و تم تحديده بالطريقة الجرافية).

و استخدمنا في دراستنا نسب مختلفة من المساحيق الناعمة و كذلك تركيز الإضافات الكيميائية بقيم مختلفة كما هو موضح في الجداول أعلاه " الجدول (1-III) و الجدول (2-III) " و ملخص تركيب مكونات الخرسانة في الجدول(8-III) .

# الجانب التطبيقي

## الفصل IV

### تحليل و مناقشة النتائج

## تحليل و مناقشة النتائج

### IV-1- مقدمة :

تهدف هذه الدراسة لمعرفة تأثير أنواع مختلفة من نفايات البناء و استعمالها كإضافات إسمنتية على خواص الخرسانة ذاتية التوضع في الحالة الطازجة و المتصلبة ، و كذلك التركيز على اختبارات الخرسانة ، كما أن هذه النفايات تشكل عبء من ناحية وجودها و تكاليف التخلص منها .

حيث قمنا في دراستنا لهذا البحث باستخدامها كإضافات لخلطة الخرسانة ذاتية التوضع بعدما طحنت إلى حبيبات صغيرة لا يتجاوز حجمها 80 ميكرو متر ، و استخدام المار ليضاف بنسب مئوية مختلفة من وزن الاسمنت .

تم إنتاج خمسة (05) تركيبات من الخرسانة ذاتية التوضع كما أشرنا إليها في الفصل الثالث (جدول III-19) و جدول (III-20) يوضح نسب المواد الناعمة المستعملة في الخلطات مع التسمية و كذلك استخدام الإضافات الكيميائية بقيم مختلفة و هي متفرعة إلى قسمين الخلطة رقم : I و الخلطة رقم : II .

تم إعداد :

✓ 100 عينة" اسطوانيا" (22X11) سم لكل نوع من أنواع الخرسانة ، لاختبارات الضغط و الموجات فوق الصوتية عند 7 أيام ، 14 يوما ، 28 يوما ، 45 يوما ، 60 يوما .

✓ 100 عينة" موشوري الشكل (28X7X7) سم لكل نوع من أنواع الخرسانة ، لاختبارات الشد بالانحناء عند 7 أيام ، 14 يوما ، 28 يوما ، 45 يوما ، 60 يوما من بينها 20 عينة لتجربة الانكماش يتم قياسها في اليوم 1، 2، 3، 4، 7، 14، 28.

✓ 20 عينة" مكعبا" (15X15X15) سم لكل نوع من أنواع الخرسانة ، لاختبار النفاذية .

✓ 20 عينة" مكعبا" (10X10X10) سم لكل نوع من أنواع الخرسانة ، لاختبار امتصاص الماء بالخاصية الشعرية .



الشكل (IV-1) : صورة توضع جميع العينات المنجزة لإجراء الاختبارات .

IV-2- /- اختبارات الخرسانة في الحالة الطازجة :

2-1 /- التدفق slump flow :

الهدف من هذا الاختبار هو قياس تدفق الخرسانة بدلا من قياس الهبوط ويأخذ متوسط قطر الخرسانة التي تشكلها أثناء الانتشار.



الشكل (IV-2) : صورة توضع تدفق الخرسانة .

تحليل النتائج : النتيجة النهائية هي متوسط القيمتين اللتين تم الحصول عليهما .

$$\text{Slump flow} = \frac{D1+D2}{2}$$

و نتائج الاختبار التي أجريت على مختلف BAP<sub>s</sub> مدونة في الجدول (IV-1) .

الجدول (IV-1) : نتائج تجربة التدفق slump flow.

تجربة التدفق slump flow					
BAP <sub>1</sub>	BAP <sub>2</sub>	BAP <sub>3</sub>	BAP <sub>4</sub>	BAP <sub>5</sub>	رمز تسمية الخلطة
70	71	71	70	68	الخلطة رقم : I

التعليق على النتائج :

صنفت النتائج المتحصل عليه وفقا لمعيار [5]NF EN 206

جميع الخرسانة المدروسة في المجال SF2 وهي ذات استعمال واسع .

**2-2- اختبار حلقة J-Ring :**

يهدف هذا الاختبار إلى قابلية تدفق الخرسانة ذاتية التوضع عبر المناطق الضيقة و المكتظة بالتسليح دون حدوث انفصال حبيبي أو انسداد ، يكون هذا الاختبار بالجمع بين حلقة J-Ring و مخروط أبرامس لمراقبة انتشار الخرسانة، و نتائج الاختبار التي أجريت على مختلف BAP<sub>s</sub> مدونة في الجدول (IV-2) .



الشكل (IV-3): اختبار حلقة J-Ring .

الجدول (IV-2): اختبار حلقة J-Ring .

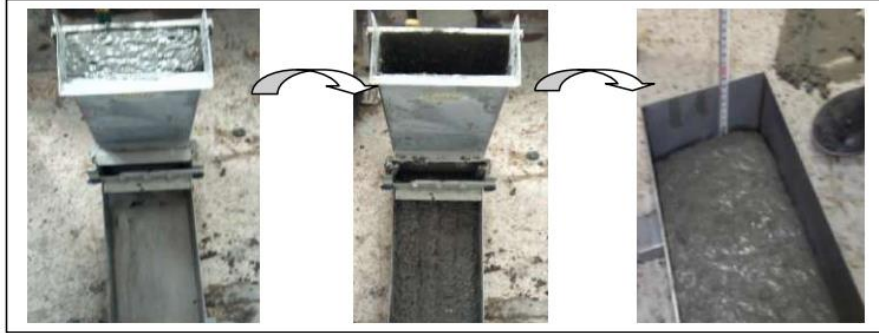
اختبار حلقة J-Ring					
BAP <sub>1</sub>	BAP <sub>2</sub>	BAP <sub>3</sub>	BAP <sub>4</sub>	BAP <sub>5</sub>	رمز تسمية الخلطة
67	66	71	67	67	الخلطة رقم : I

التعليق على النتائج :

من خلال النتائج التي تم الحصول عليها يتضح لنا أن  $BAP_3$  هي الأكثر انتشاراً ثم يليها ( $BAP_4$  ،  $BAP_5$ ) ثم  $BAP_1$  ثم يليها  $BAP_2$  على التوالي .

2-3- / جهاز L BOX :

يتم إجراء اختبار L BOX للخرسانة ذاتية التوضع فقط ، مما يجعلنا تقييم مخاطر الانسداد و قدرة التعبئة في بيئة ضيقة و مكتظة بالتسليح يملئ الجزء العمودي من الصندوق بالخرسانة ثم رفع فتحة الفولاذ ، يتم قياس نسبة التعبئة و التي يتم تعريفها على أنها نسبة ارتفاعات الخرسانة في الأجزاء الرأسية بالنسبة لـ BAP بحيث يجب أن يكون  $H_1 / H_2$  أكبر من 0.8 . [12]



الشكل (IV- 4) : اختبار جهاز L BOX .

نتائج الاختبار التي أجريت على مختلف  $BAP_s$  مدونة في الجدول (IV- 3) .

الجدول (IV-3) : اختبار جهاز L BOX

تجربة جهاز L BOX					
$BAP_1$	$BAP_2$	$BAP_3$	$BAP_4$	$BAP_5$	رمز تسمية الخلطة
0.8	0.89	0.89	0.94	0.89	الخلطة رقم : I

التعليق على النتائج :

انطلاقاً من حساب النسبة ( $H_1 / H_2 > 0.8$ ) نتائج جميع الخلطة الخرسانية المدروسة لم تتجاوز 0.8 وبالتالي التشغيلية مستقرة في جميع الخلطة.

2-4/- اختبار استقرار الغريال : يهدف هذا الاختبار إلى معرفة استقرار الخرسانة و مقاومتها للانفصال دون حدوث خطر ترسبها بفعل الجاذبية ، نتائج الاختبار التي أجريت على مختلف BAP<sub>s</sub> مدونة في الجدول (IV-4).



الشكل (IV-5) : اختبار استقرار الغريال

الجدول (IV-4) : اختبار استقرار الغريال

اختبار استقرار الغريال					
BAP <sub>1</sub>	BAP <sub>2</sub>	BAP <sub>3</sub>	BAP <sub>4</sub>	BAP <sub>5</sub>	رمز تسمية الخلطة
25.5	43.6	20.7	19.2	21.2	الخلطة رقم : I (%)

التعليق على النتائج :

صنفت النتائج المتحصل عليه وفقا لمعيار [5]NF EN 206

أن جميع الخرسانة المدروسة محصورة في المجال  $15 > P \geq 30$  وبالتالي هي أكثر مقاومة للإنفصال الحبيبي ما عدا BAP<sub>2</sub> أكبر من 30 وتعتبر استقرار سيئ للغاية.

الجدول (IV-5): ملخص نتائج BAP في الحالة الطازجة .

النوع	(%) الصندوق L	(%) استقرار الغريال	حلقة J-Ring (cm)
BAP <sub>1</sub>	0.8	25.5	67
BAP <sub>2</sub>	0.89	43.6	66
BAP <sub>3</sub>	0.89	20.7	71
BAP <sub>4</sub>	0.94	19.20	67
BAP <sub>5</sub>	0.89	21.20	67

ملاحظة:

بالنسبة للخطة II لم نجري هذه التجارب و حافظنا على التشغيلية .

3- /- اختبارات الخرسانة في الحالة المتصلبة :

وهي الاختبارات غير تحطيمية.

3-1- /- اختبار الموجات فوق الصوتية :

يهدف هذا الاختبار لقياس سرعة النبضات - الموجات فوق الصوتية - التي تمر عبر العينة كدالة للوقت و المسافة من أجل تقييم جودة الخرسانة .



الشكل (IV- 6): اختبار الموجات فوق الصوتية .

نتائج سرعة النبضات (v) كالآتي :

$$V=L / T(\text{Km/sec})$$

. L= Length طول المسار المقاس

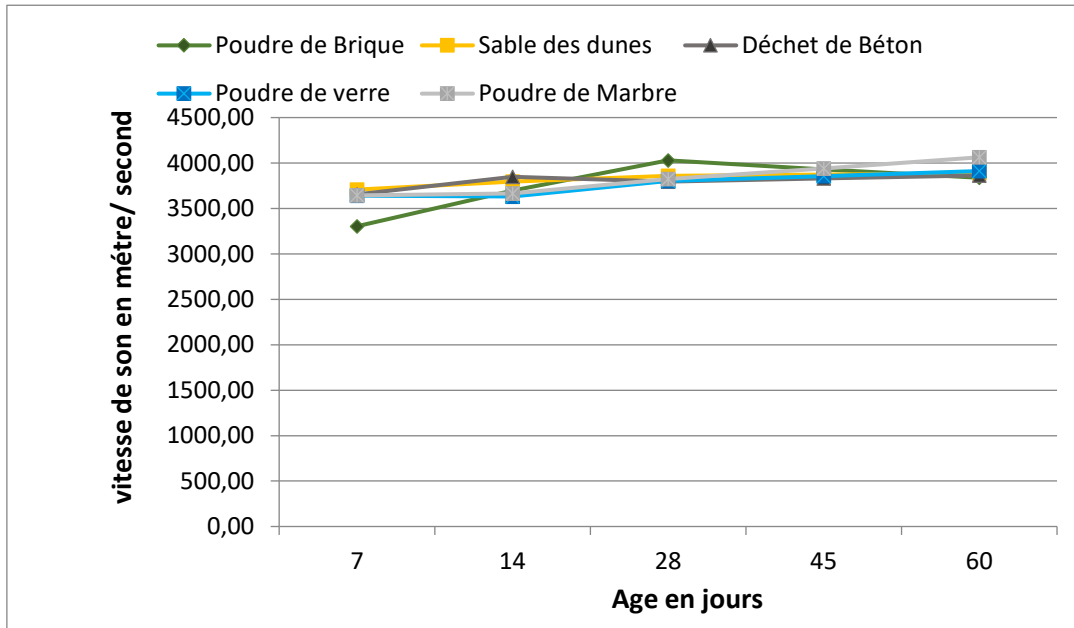
. T=Transit Time زمن انتقال الموجة

بحيث سجلنا القياسات التي أجريت على الخرسانة في أعمار مختلفة (7 ، 14 ، 28 ، 45 ، 60) يوما و نتائج متوسط القياس مدونة في الجدول (IV- 6).

3-1-1-1/الخطأ I:

الجدول (IV-6): قيم القياسات بالموجات فوق الصوتية على الخرسانة المدروسة

Ultrasonique					
jours	Poudre de Brique	Sable des dunes	Déchet de Béton	Poudre de verre	Poudre de Marbre
7	3303,91	3707,58	3654,74	3640,47	3643,38
14	3697,13	3796,45	3847,85	3631,56	3666,67
28	4029,52	3860,61	3797,01	3802,96	3822,79
45	3930,42	3873,43	3829,60	3856,37	3939,17
60	3836,12	3886,94	3863,04	3911,81	4062,88



الشكل (IV-7) : منحنى بياني لقيم القياسات بالموجات فوق الصوتية على الخرسانة المدروسة

التعليق على النتائج :

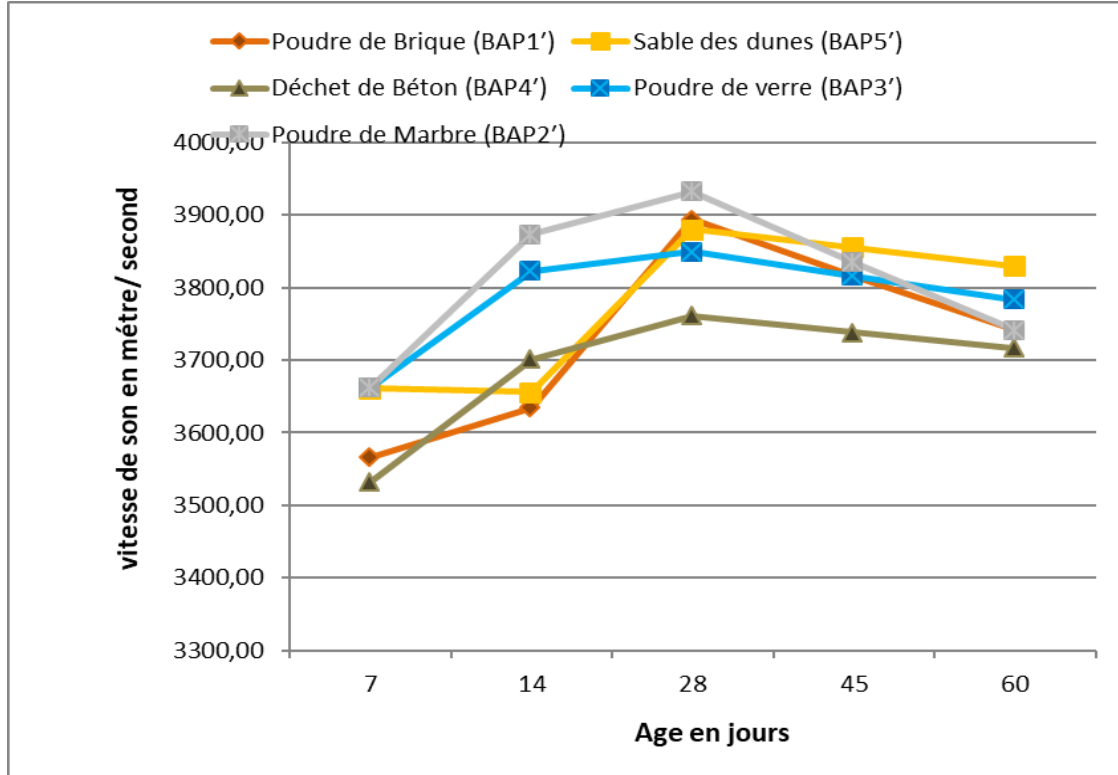
نلاحظ من خلال المنحنى البياني بأن جميع الخرسانة المدروسة في تزايد من العمر (7،28) يوما و هذا راجع إلى أنه يكتمل نمو الخرسانة عند العمر 28 يوما ، و تم تسجيل أعلى سرعة تردد لـ  $BAP_2$  (15%) يليها

BAP<sub>3</sub> ثم BAP<sub>4</sub> ثم BAP<sub>5</sub> ثم BAP<sub>1</sub> على التوالي ، و يفسر تناقص سرعة التردد أنه كلما جفت العينة يترك الماء المتبخر مسامات في العينة و هو السبب الرئيسي في عرقلة الموجات الصوتية .

3-1-2- الخطة II:

الجدول (7-IV): قيم القياسات بالموجات فوق الصوتية على الخرسانة المدروسة

Ultrasonique					
jours	Poudre de Brique	Sable des dunes	Déchet de Béton	Poudre de verre	Poudre de Marbre
7	3565,72	3660,93	3531,31	3661,79	3661,39
14	3634,08	3655,94	3700,80	3822,79	3873,43
28	3894,11	3880,37	3760,68	3849,59	3932,46
45	3816,18	3854,84	3738,34	3815,57	3834,43
60	3741,51	3829,65	3716,31	3783,30	3741,67

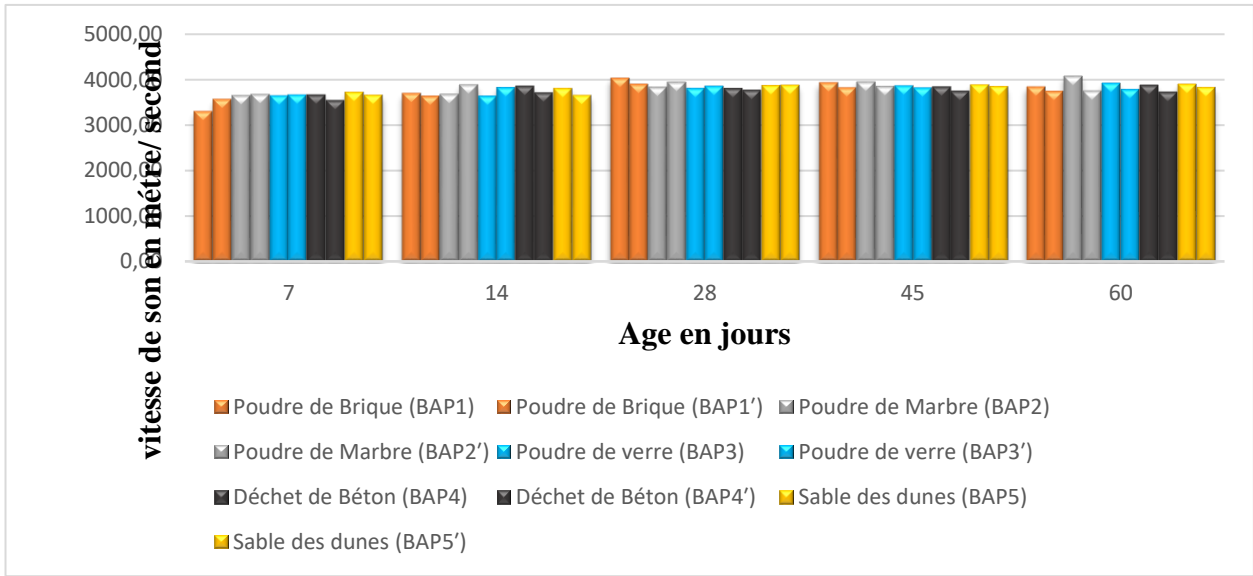


الشكل (8-IV) : منحنى بياني لقيم القياسات بالموجات فوق الصوتية على الخرسانة المدروسة

التعليق على النتائج :

نلاحظ من خلال المنحنى البياني بأن جميع الخرسانة المدروسة في تزايد من العمر (7،28) يوما و هذا راجع إلى أنه يكتمل نمو الخرسانة عند العمر 28 يوما ، و تم تسجيل أعلى سرعة تردد لـ 'BAP<sub>5</sub>' (40%) يليها 'BAP<sub>3</sub>' ثم 'BAP<sub>2</sub>' ثم 'BAP<sub>1</sub>' ثم 'BAP<sub>4</sub>' على التوالي ، و يفسر تناقص سرعة التردد أنه كلما جفت العينة يترك الماء المتبخر مسامات في العينة و هو السبب الرئيسي في عرقلة الموجات الصوتية .

3-1-3- المقارنة بين الخلطات:



الشكل (9-IV) : أعمدة بيانات لقيم القياسات بالموجات فوق الصوتية على الخرسانة المدروسة

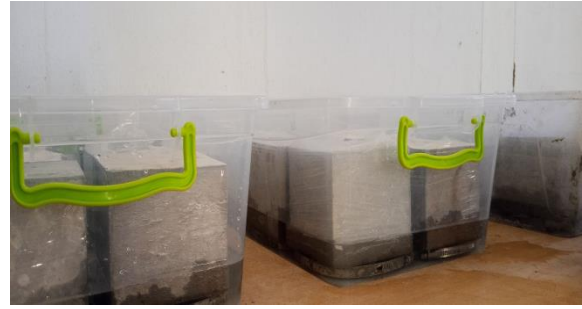
التعليق على النتائج :

من خلال الأعمدة البيانية نلاحظ أن خرسانة مسحوق الأجر بـ BAP<sub>1</sub> عند العمر 28 يوما نتائج الخلطة I (40%) حققت أعلى سرعة تردد مقارنة مع الخلطة II (25%) وكذلك عند العمر 60 يوما ، أما بالنسبة خرسانة مسحوق الرخام عند العمر 28 يوما نتائج الخلطة II (25%) حققت أعلى سرعة تردد مقارنة مع الخلطة I (15%) وعند العمر 60 يوما نتائج الخلطة I (15%) أعلى من الخلطة II (25%) ، أما بالنسبة خرسانة مسحوق الزجاج عند العمر 28 يوما نتائج الخلطة II (25%) حققت أعلى سرعة تردد مقارنة مع الخلطة I (15%) وعند العمر 60 يوما نتائج الخلطة I (15%) أعلى من الخلطة II (25%) ، أما بالنسبة خرسانة مسحوق الرخام عند العمر (28 ، 60) يوما نتائج الخلطة I (15%) حققت أعلى سرعة تردد مقارنة مع الخلطة II (25%) ، أما بالنسبة خرسانة مسحوق رمال الكتيان عند العمر 28 يوما نتائج الخلطة II (15%) حققت أعلى سرعة تردد مقارنة مع الخلطة I (40%) وعند العمر 60 يوما نتائج الخلطة I (40%) أعلى من الخلطة II (15%) .

- من خلال الأعمدة البيانية لاحظنا أعلى سرعة تردد عند العمر 60 يوم لـ BAP2 (15%) لدراسة الحالية , مقارنة بـ BAP2 (40%) لدراسة السابقة .
- في السنة الماضية سجلت BAP1 (15%) أعلى سرعة تردد مقارنة بـ BAP1 (40%) لدراسة الحالية.
- نتائج مسحوق الأجر (25%) للفوج الآخر سجلت أعلى سرعة تردد مقارنة بـ BAP1 (40%) لفوجنا ، كما أنه نتائج مسحوق الرخام (15%) لفوجنا سجلت أعلى سرعة تردد صوت مقارنة بالفوج الآخر BAP2 (20%) .

### 2-3/- امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعرية [NF EN772-11] :

يهدف هذا الاختبار لمراقبة حركية الامتصاص الشعري من خلال كمية الماء الممتصة لكل وحدة مساحة سطح من العينة الملامسة للماء كدالة للجدر التريبيعي للزمن ، بحيث تم إجراء هذا الاختبار على عينات مكعبة بأبعاد (10x10x10) سم<sup>3</sup> .



### الشكل (IV-10): اختبار امتصاص الماء عن طريق الخاصية الشعرية .

يعرف معامل امتصاص الماء الشعري بأنه ميل الانحدار الخطي لجزء المنحنى الذي يربط كمية الماء الممتصة لكل وحدة مساحة بالجدر التريبيعي للزمن بالعلاقة التالية :

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \sqrt{t_{so}}} \times 10^6$$

بحيث :

$C_{w,s}$  : معامل امتصاص الماء الشعري بوحدة : غ/م<sup>2</sup> . ثا<sup>1/2</sup> .

$m_{so,s}$  : كتلة العينة بعد الغمر لمدة زمنية t بوحدة غ .

$m_{dry,s}$  : كتلة العينة بعد التجفيف بوحدة غ .

$A_s$  : المساحة السطحية الاجمالية لوجه قطعة الاختبار المغمورة في الماء بوحدة ملم<sup>2</sup> .

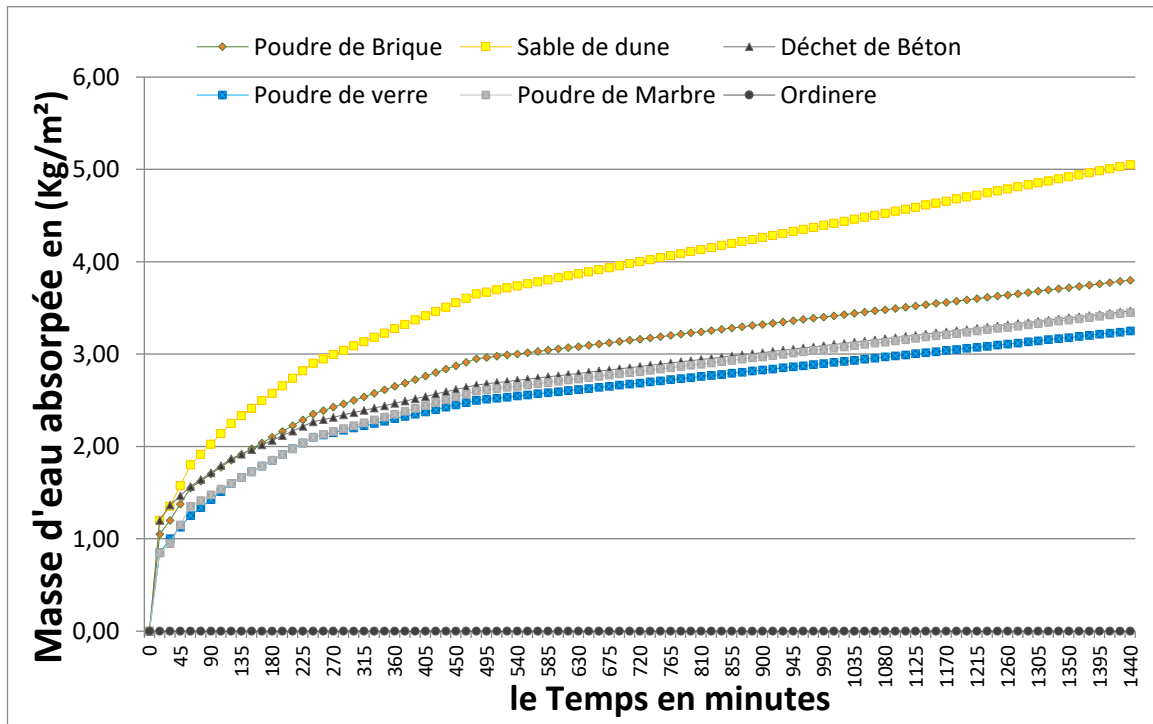
$t_{s0}$  : وقت الغمر بوحدة الثانية .

سجلنا معامل امتصاص الماء لجميع العينات المدروسة على فترات زمنية مختلفة ( 15 د ، 30 د ، ساعة ، ساعتان ، 4 سا ، 24 سا ) مدونة في الجدول (4-7) .

### 3-2-1- الخطة I:

الجدول (8-IV) : قيم معامل الامتصاص عن طريق الخاصية الشعرية .

Materiaux	Temp d'Absorption								
	0	15	30	45	1	2	4	8	24
Poudre de Brique	0	1,05	1,20	1,38	1,55	1,85	2,35	2,95	3,80
Sable des dunes	0	1,20	1,35	1,58	1,80	2,25	2,90	3,65	5,05
Déchet de Béton	0	1,20	1,37	1,47	1,57	1,87	2,27	2,67	3,47
Poudre de verre	0	0,85	1,00	1,13	1,25	1,60	2,10	2,50	3,25
Poudre de Marbre	0	0,85	0,95	1,15	1,35	1,60	2,10	2,60	3,45



الشكل (11-IV): منحنى قيم معامل الامتصاص بالخاصية الشعرية.

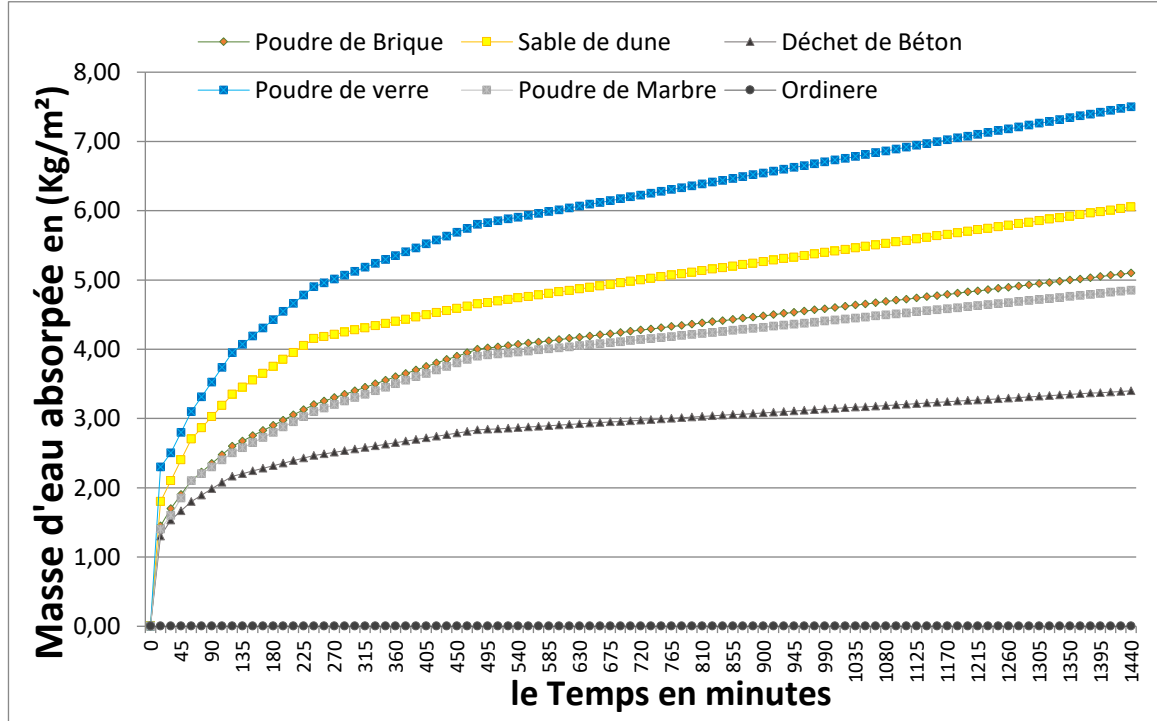
التعليق على النتائج :

من خلال المنحنى البياني للامتصاص عن طريق الخاصية الشعرية لاحظنا من 0 إلى 1 ساعة أن معامل الامتصاص في تزايد لجميع أنواع الخرسانة المدروسة ثم من 1 ساعة إلى 24 ساعة أن  $BAP_5$  كان أكثر امتصاصا يليها  $BAP_1$  يليها  $BAP_2$ ,  $BAP_4$  وأخيرا  $BAP_3$ .

3-2-2/- الخطة II:

الجدول (9-IV) : قيم معامل الامتصاص عن طريق الخاصية الشعرية .

Materiaux	Temp d'Absorption								
	0	15	30	45	1	2	4	8	24
Poudre de Brique	0	1,45	1,70	1,90	2,10	2,60	3,20	4,00	5,10
Sable des dunes	0	1,80	2,10	2,40	2,70	3,35	4,15	4,65	6,05
Déchet de Béton	0	1,30	1,53	1,67	1,80	2,17	2,47	2,83	3,40
Poudre de verre	0	2,30	2,50	2,80	3,10	3,95	4,90	5,80	7,50
Poudre de Marbre	0	0,20	1,60	1,85	2,10	2,50	3,85	3,90	4,85

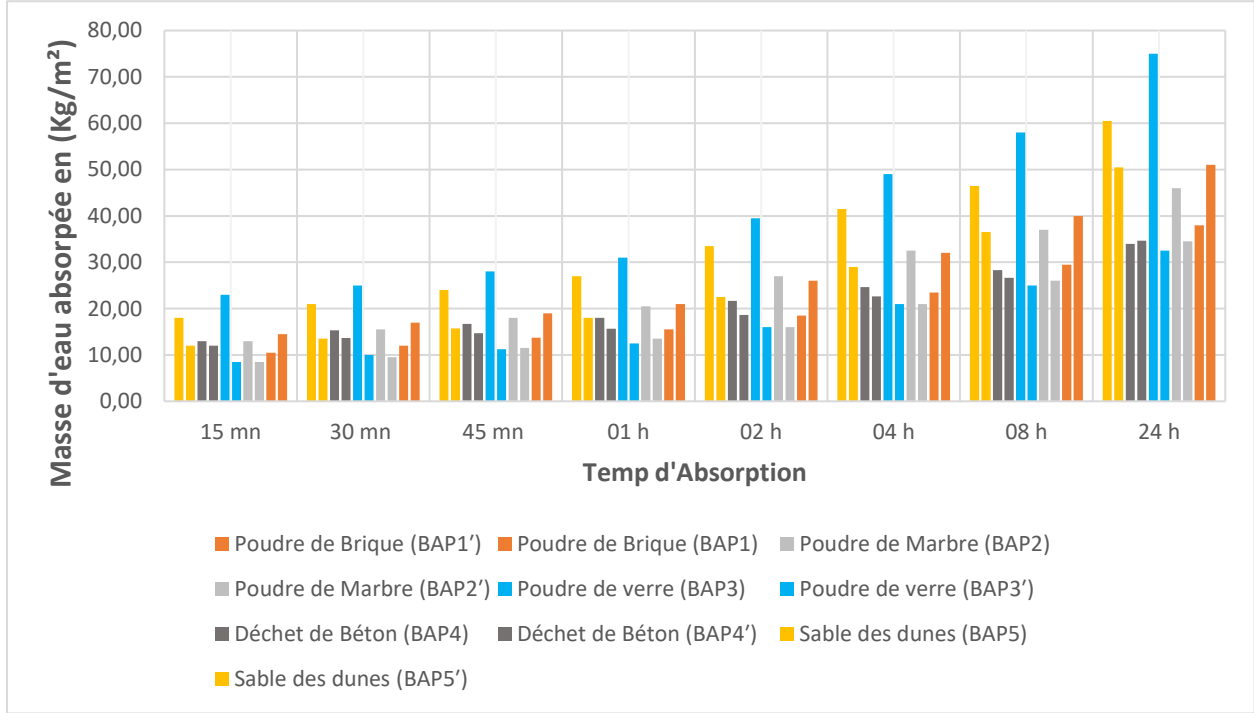


الشكل (12-IV): منحنى قيم معامل الامتصاص بالخاصية الشعرية.

التعليق على النتائج :

من خلال المنحنى البياني للامتصاص عن طريق الخاصية الشعرية لاحظنا من 0 إلى 1 ساعة أن معامل الامتصاص في تزايد لجميع أنواع الخرسانة المدروسة ثم من 1 ساعة إلى 24 ساعة أن BAP<sub>3</sub> كان أكثر امتصاصا يليها BAP<sub>5</sub> يليها BAP<sub>1</sub>, BAP<sub>2</sub> , وأخيرا BAP<sub>4</sub>.

3-2-3- مقارنة بين الخلطات :



الشكل (13-IV) : الأعمدة البيانية لمعامل الامتصاص عن طريق الخاصية الشعرية للخلطتين

التعليق على النتائج:

من خلال الأعمدة البيانية نلاحظ أن الخرسانة بمسحوق الأجر عند 15 د حتى 24 سا في تزايد بالنسبة للخلطة I (40%) أكثر امتصاص من الخلطة II (25%) ، أما بالنسبة لخرسانة مسحوق الرخام الخلطة I (15%) أقل امتصاص مقارنة بالخلطة II (25%) ، أما بالنسبة لخرسانة مسحوق الزجاج الخلطة I (15%) أقل امتصاص مقارنة بالخلطة II (25%) ، أما بالنسبة لخرسانة مسحوق الخرسانة الخلطة I (15%) أكثر امتصاص من الخلطة II (25%) ، أما بالنسبة لخرسانة مسحوق رمل الكثبان الخلطة I (40%) أقل امتصاص مقارنة بالخلطة II (15%) .

- من خلال الأعمدة البيانية لاحظنا إن نسبة معامل الامتصاص لـ BAP<sub>4</sub> (15%) تميزت بأقل

امتصاص من أنواع الخرسانة المدروسة لسنة الحالية.

- في السنة الماضية سجل  $BAP_1$  (15%) أحسن معامل امتصاص مقارنة بـ  $BAP_1$  (40%) لدراسة الحالية , بينما سجل  $BAP_4$  (15%) لدراسة الحالية أحسن معامل امتصاص مقارنة بـ  $BAP_4$  (40%).
- نتائج مسحوق الرخام (20%) للفوج الآخر حققت أقل امتصاص للماء مقارنة بفوجنا  $BAP_2$  (15%) و كذلك نتائج مسحوق الزجاج (15%) للفوج الآخر حققت أقل امتصاص للماء مقارنة مع فوجنا  $BAP'_3$  (30%).

### 3-3- نفاذية الماء للخرسانة [EN 12390-8] :

يهدف هذا الاختبار لتحديد مقاومة العينة للنفاذية لمرور سائل مضغوط عبر المسام ، تم إجراء هذا الاختبار على عينات مكعبة بأبعاد (10x10x10) سم<sup>3</sup> .



الشكل (14-IV): اختبار نفاذية الماء للخرسانة .

تم تحديد النفاذية باستعمال قانون Darcy بالعلاقة التالية :  $K = Q / A.i$

بحيث :

**Q** : حجم الماء لكل وحدة زمنية ( سرعة التدفق ) بوحدة م<sup>3</sup> / ثانية .

**A** : المساحة التي عبرها الماء بوحدة م<sup>2</sup> .

**I** : التدرج الهيدروليكي من خلال العينة .

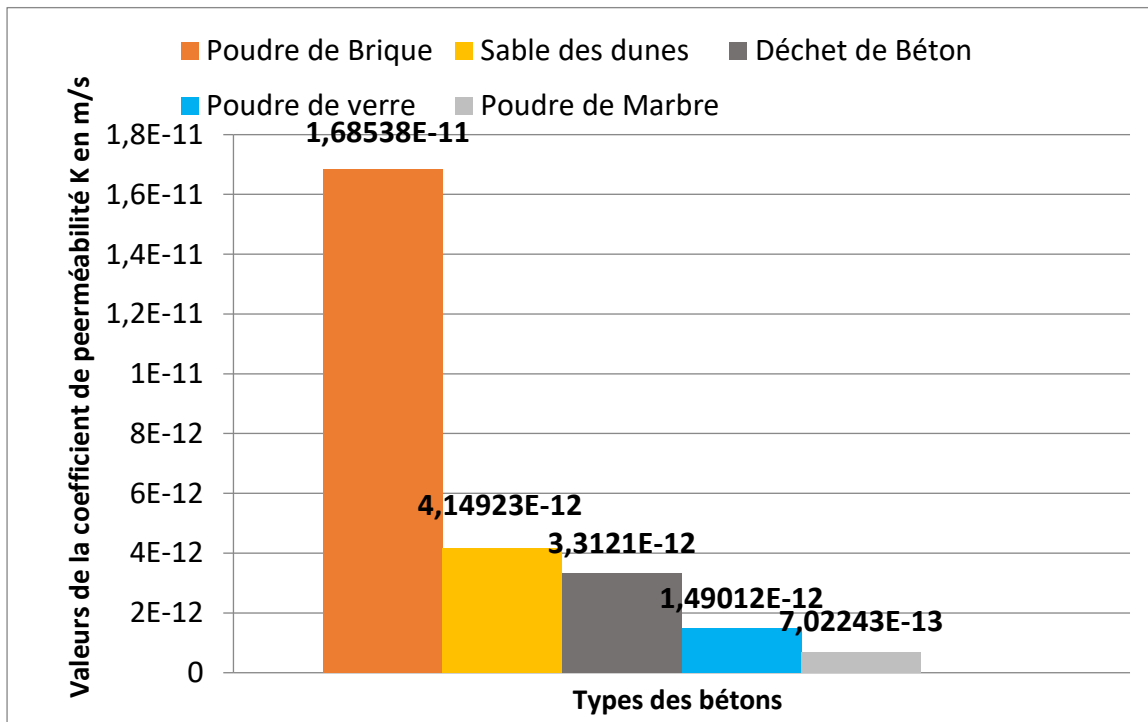
**I** = ( الضغط داخل العينة – الضغط بالخارج ) / سمك الخرسانة .

متوسط نتائج الاختبار التي أجريت على مختلف BAP<sub>s</sub> مدونة في الجدول (4 – 8)

**I-3-3-1/الخطة I:**

جدول (10-IV): قيم معامل النفاذية لأنواع الخرسانة المدروسة الخاصة.

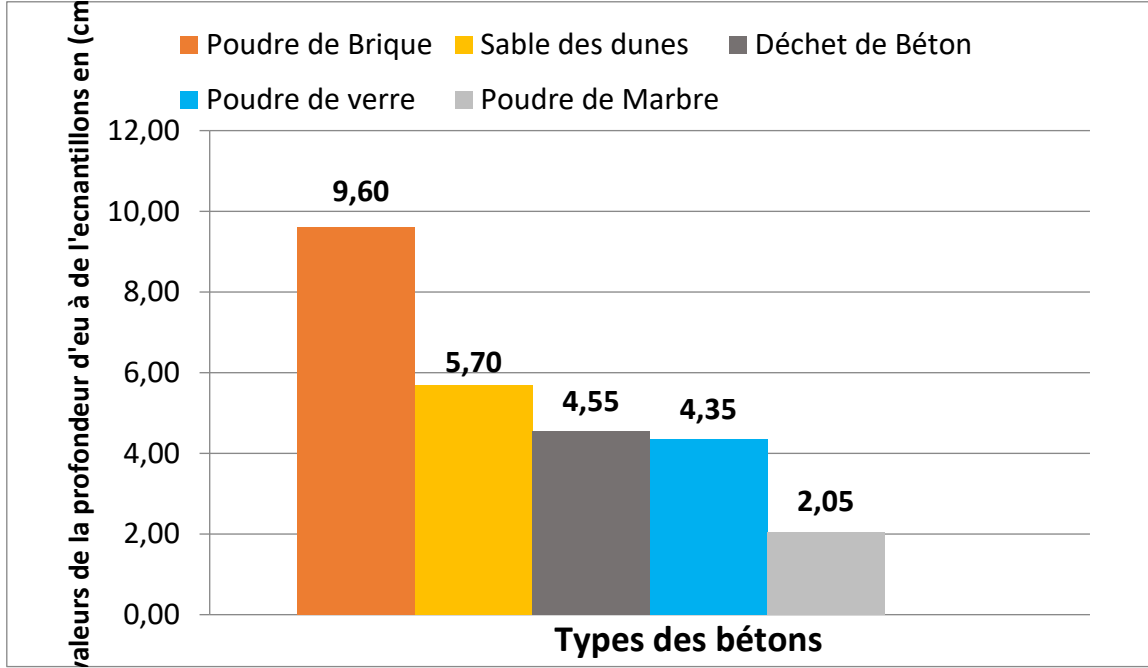
Poudre de Brique	1,68538E-11	m/s
Sable des dunes	4,14923E-12	m/s
Déchet de Béton	3,3121E-12	m/s
Poudre de verre	1,49012E-12	m/s
Poudre de Marbre	7,02243E-13	m/s
#REF!	#REF!	m/s



الشكل (15-IV) : قيم عمق الماء داخل العينات المدروسة .

الجدول (11-IV) : قيم عمق الماء داخل العينات المدروسة.

#REF!	Poudre de Marbre	Poudre de verre	Déchet de Béton	Sable des dunes	Poudre de Brique
#REF!	2,05	4,35	4,55	5,70	9,60



الشكل (16-IV): أعمدة بيانية توضح عمق الماء للعينات المدروسة التي تمت دراستها

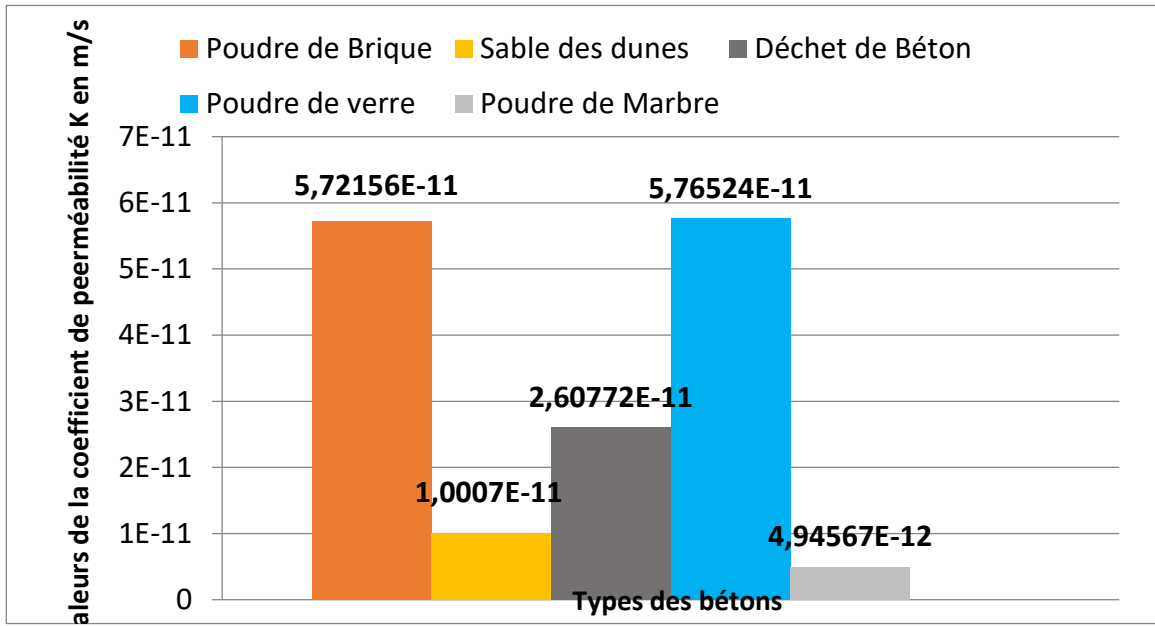
#### التعليق على النتائج :

من خلال الأعمدة البيانية نلاحظ نفاذية الماء خلال 72 ساعة للعينات المدروسة أن BAP<sub>1</sub> هي أعلى معامل نفاذية يليها BAP<sub>5</sub> يليها BAP<sub>4</sub> يليها BAP<sub>3</sub> يليها BAP<sub>2</sub> و هو أحسن باعتباره أقل نفاذية من أنواع الخرسانات الأخرى المدروسة كما يدل على أنه أقل مسامات .

II-2-3-3-الخطأ:II

جدول (12-IV): قيم معامل النفاذية لأنواع الخرسانة المدروسة الخاصة

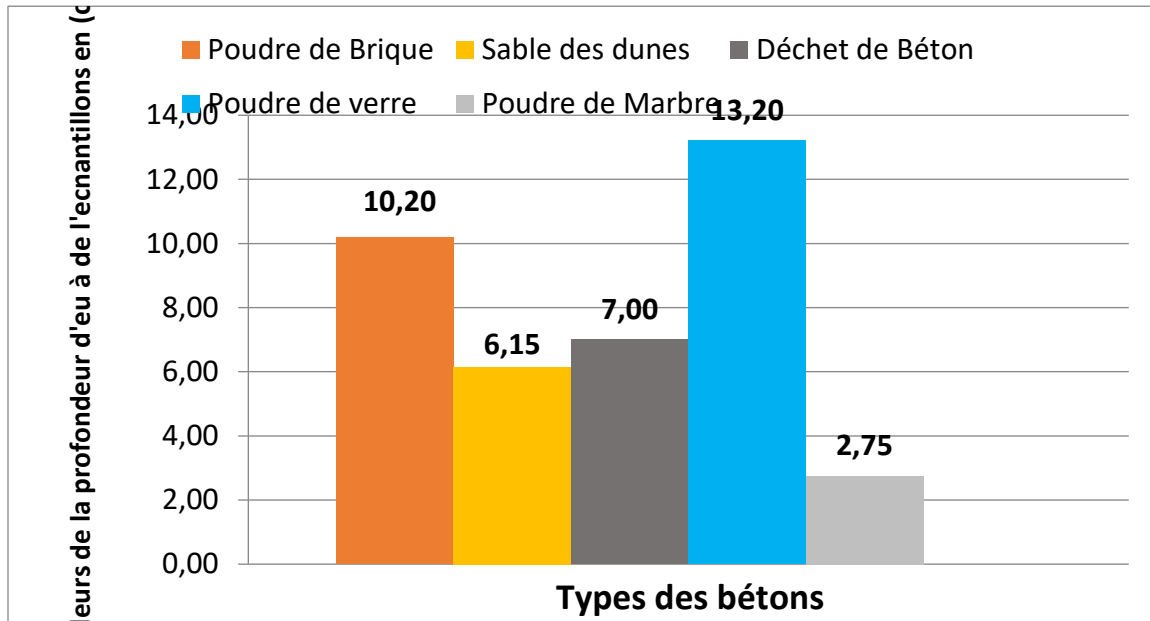
Poudre de Brique	$K=Q/(A*i) =$	<b>5,72156E-11</b>	m/s
Sable des dunes	$K=Q/(A*i) =$	<b>1,0007E-11</b>	m/s
Déchet de Béton	$K=Q/(A*i) =$	<b>2,60772E-11</b>	m/s
Poudre de verre	$K=Q/(A*i) =$	<b>5,76524E-11</b>	m/s
Poudre de Marbre	$K=Q/(A*i) =$	<b>4,94567E-12</b>	m/s
	$K=Q/(A*i) =$	<b>#REF!</b>	m/s



الشكل (17-IV): أعمدة بيانية توضح قيم معامل النفاذية للعينات الخرسانة المدروسة

الجدول (13-IV) : قيم عمق الماء داخل العينات المدروسة .

	Poudre de Marbre	Poudre de verre	Déchet de Béton	Sable des dunes	Poudre de Brique
Valeurs de profondeur	2,75	13,20	7,00	6,15	10,20

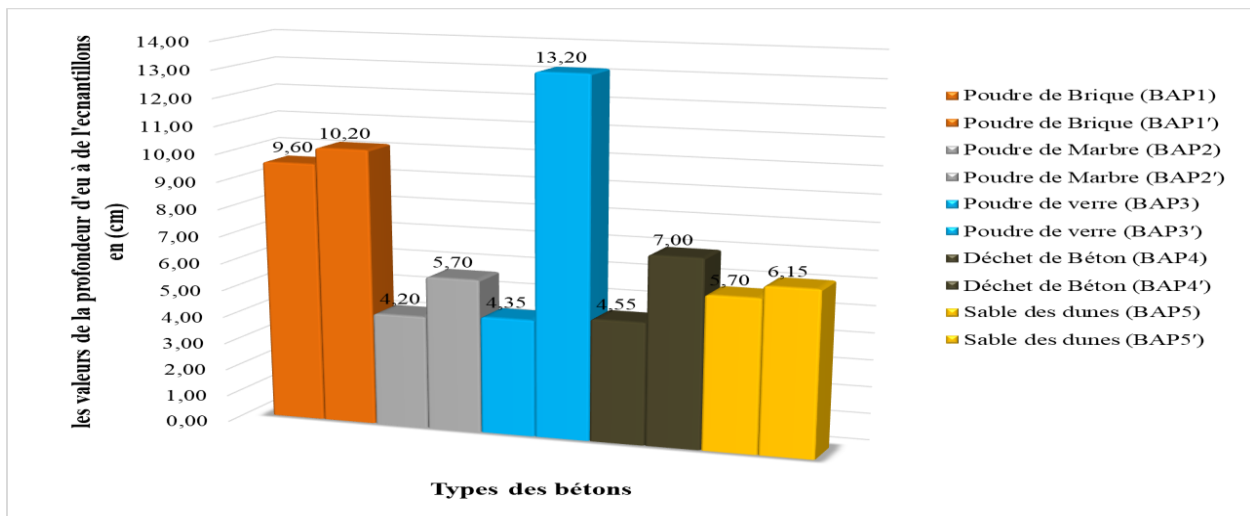


الشكل (IV-18): أعمدة بيانية توضح عمق الماء للعينة التي تمت دراستها

التعليق على النتائج :

من خلال الأعمدة البيانية نلاحظ نفاذية الماء خلال 72 ساعة للعينات المدروسة أن BAP'3 هي أعلى معامل نفاذية يليها BAP'1 يليه BAP'4 يليه BAP'5 يليه BAP'2 و هو أحسن باعتباره أقل نفاذية من أنواع الخرسانات الأخرى المدروسة كما يدل على أنه أقل مسامات .

### 3-3-3- مقارنة بين الخلطات المدروسة:



الشكل (IV-19): أعمدة بيانية توضح عمق الماء للعينة التي تمت دراستها

**التعليق على النتائج:**

من خلال الأعمدة البيانية نلاحظ أن الخرسانة بمسحوق الأجر بعد 72 ساعة عمق الماء داخل العينة بالنسبة للخلطة I (40%) أقل عمق من الخلطة II (25%)، أما بالنسبة لخرسانة بمسحوق الرخام بعد 72 ساعة عمق الماء داخل العينة بالنسبة للخلطة I (15%) أقل عمق من الخلطة II (25%) ، أما بالنسبة لخرسانة بمسحوق الزجاج بعد 72 ساعة عمق الماء داخل العينة بالنسبة للخلطة I (15%) أقل عمق من الخلطة II (25%) . أما بالنسبة لخرسانة بمسحوق الخرسانة بعد 72 ساعة عمق الماء داخل العينة بالنسبة للخلطة I (15%) أقل عمق من الخلطة II (25%) ، أما بالنسبة لخرسانة بمسحوق رمل الكثبان بعد 72 ساعة عمق الماء داخل العينة بالنسبة للخلطة I (40%) أقل عمق من الخلطة II (15%).

- من خلال الأعمدة البيانية لجميع الخرسانات المدروسة حقق عمق الماء خلال 72 ساعة لـ BAP<sub>2</sub> (15%) تميزه بأقل نفاذية للسنة الحالية ، مقارنة بـ BAP<sub>2</sub>(40%) لدراسة السابقة .
  - في السنة الماضية سجلت BAP<sub>3</sub>(40%) أقل عمق مقارنة بـ BAP<sub>3</sub>(15%) لدراسة الحالية.
  - نتائج جيدة لمسحوق الرخام (20%) للفوج الآخر باعتباره أقل نفاذية للماء مقارنة مع فوجنا BAP<sub>2</sub> (15%) الذي حقق أقل نفاذية بالنسبة لفوجنا .
- و يرجع اختلاف النتائج إلى نسبة كميات المساحيق المضافة للخرسانة .

**4-3- الاختبارات التحضيرية للخرسانة :**

**3-4-1- اختبار الضغط :** يهدف هذا الاختبار لمراقبة تطور قوة الانضغاط F المطبقة على العينة حتى الانهيار ، تم اجراء هذا الاختبار على عينات اسطوانية الشكل (11 22 x) سم<sup>2</sup> .



الشكل (20-IV): اختبار الضغط .

يأخذ متوسط القوة للعينات ، و يعبر عليها بالعلاقة التالية :

$$R_c (N/mm^2) = F / S$$

**F** : قيمة قوة الانهيار للعينة بوحدة N .

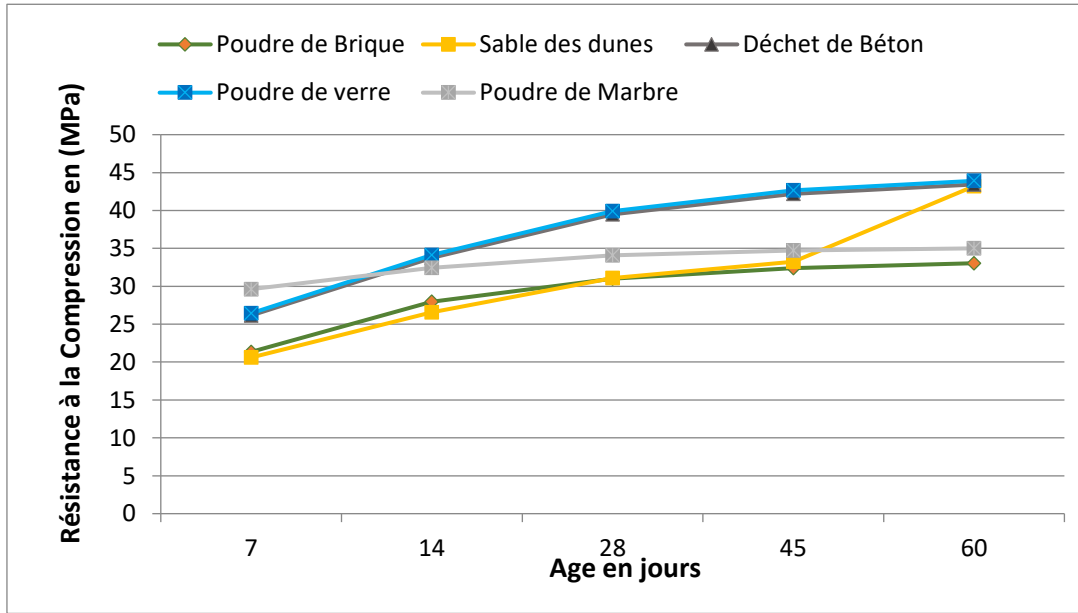
**S** : مساحة سطح الضغط بوحدة  $mm^2$  .

نتائج القياسات التي أجريت على الخرسانة في أعمار مختلفة ( 7 ، 14 ، 28 ، 45 ، 60 ) يوما.

### 3-4-1-1-الخطة I:

الجدول (IV-14) : قيم مقاومة الضغط على الخرسانة المدروسة .

Compression						
	Poudre de Brique	Sable des dunes	Déchet de Béton	Poudre de verre	Poudre de Marbre	#REF!
7	21,34	20,6	26,15	26,44	29,62	
14	27,97	26,58	33,75	34,13	32,44	
28	31,02	31,1	39,49	39,93	34,07	
45	32,41	33,23	42,2	42,67	34,72	
60	33,04	43,2	43,43	43,91	35	



الشكل (IV-21) : قيم مقاومة الضغط على الخرسانة المدروسة .

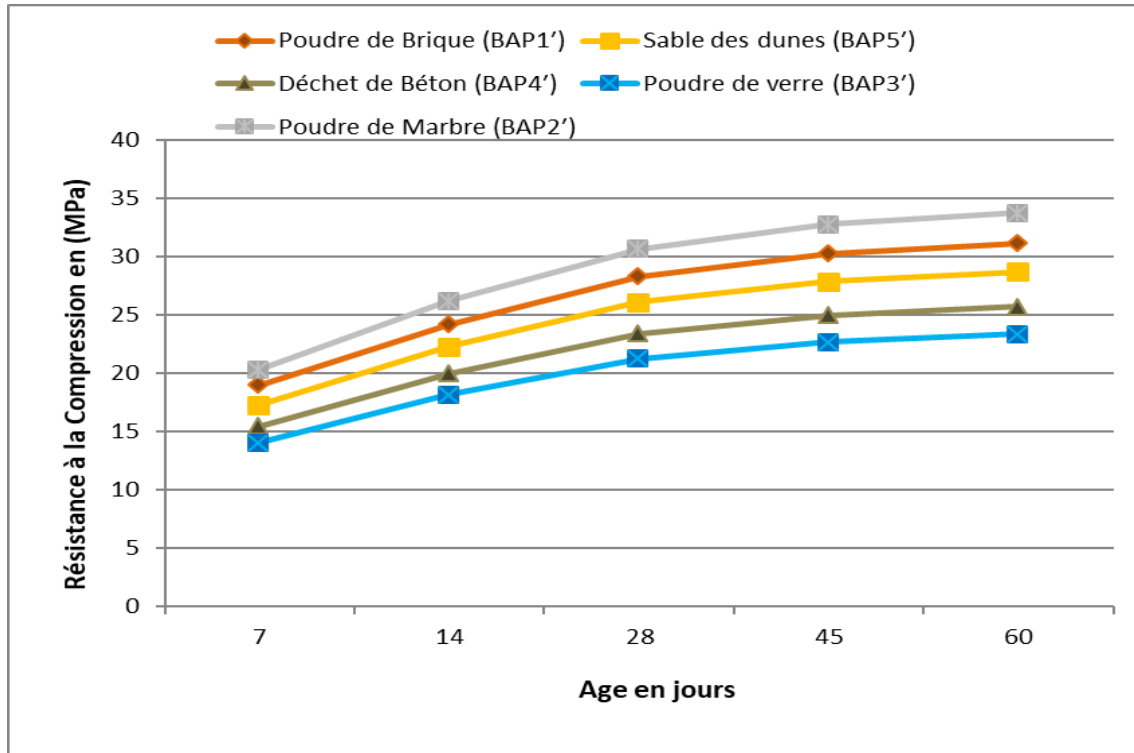
التعليق على النتائج :

من المعلوم أنه كلما طالة المدة تزداد مقاومة قوة الضغط ، و من خلال النتائج يتضح لنا أن أعلى مقاومة قوة الضغط سجلت لـ BAP<sub>3</sub> تليها على التوالي BAP<sub>4</sub> ، BAP<sub>5</sub> ، BAP<sub>2</sub> ، و أخيرا BAP<sub>1</sub> ، و يرجع هذا إلى اختلاف في نسب المساحيق المستعملة و كذلك كمية الإضافات الكيميائية.

3-4-1-2/-الخطة II:

الجدول (15-IV) : قيم مقاومة الضغط على الخرسانة المدروسة .

Compression						
	Poudre de Brique (BAP1')	Sable des dunes (BAP5')	Déchet de Béton (BAP4')	Poudre de verre (BAP3')	Poudre de Marbre (BAP2')	#REF!
7	18,99	17,28	15,49	14,06	20,31	
14	24,2	22,3	19,99	18,15	26,22	
28	28,32	26,1	23,39	21,27	30,68	
45	30,26	27,89	24,99	22,69	32,78	
60	31,14	28,7	25,72	23,35	33,73	

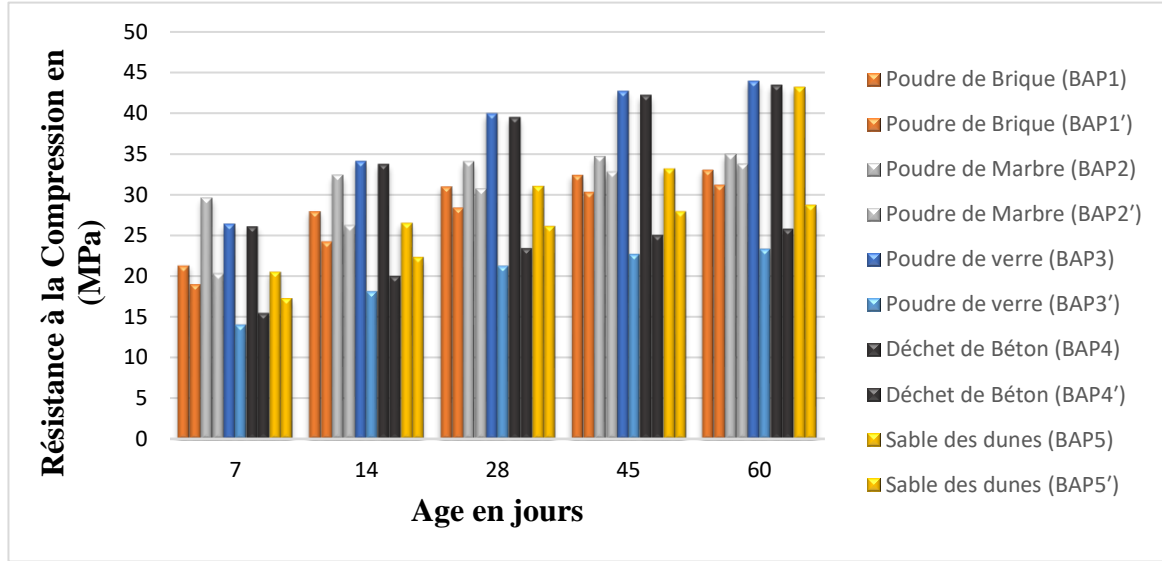


الشكل (22-IV) : قيم مقاومة الضغط على الخرسانة المدروسة .

التعليق على النتائج :

من المعلوم أنه كلما طالت المدة تزداد مقاومة قوة الضغط ، و من خلال النتائج يتضح لنا أن أعلى مقاومة قوة الضغط سجلت لـ BAP'2 تليها على التوالي BAP'1 ، BAP'5 ، BAP'4 ، و أخيرا BAP'3 ، و يرجع هذا إلى اختلاف في نسب المساحيق المستعملة و كذلك كمية الإضافات الكيميائية

3-4-1-3- المقارنة بين الخلطات:



الشكل (23-IV) : قيم مقاومة الضغط على الخرسانة المدروسة .

التعليق على النتائج :

من خلال الأعمدة البيانية نلاحظ عند العمر (28،60) يوما نتائج الخرسانة بمسحوق الأجر للخلطة I (40%) مقاومتها للضغط أعلى من الخلطة II (25%) ، أما بالنسبة لخرسانة بمسحوق الرخام عند العمر (28،60) يوما نتائج الخلطة I (15%) حققت مقاومة عالية للضغط من الخلطة II (25%) ، أما بالنسبة لخرسانة بمسحوق الزجاج عند العمر (28،60) يوما نتائج الخلطة I (15%) حققت مقاومة عالية للضغط من الخلطة II (25%) ، أما بالنسبة لخرسانة بمسحوق رمل الكثبان عند العمر (28،60) يوما نتائج الخلطة I (40%) حققت مقاومة عالية للضغط من الخلطة II (15%)

- من خلال الأعمدة البيانية لاحظنا إن أعلى قوة مقاوم الضغط عند العمر 60 يوم كانت لـ BAP<sub>3</sub> (15%) لدراسة الحالية ، مقارنة بـ BAP<sub>3</sub> (40%) لدراسة السابقة .

- في السنة الماضية سجلت BAP<sub>1</sub> (15%) أعلى قوة مقاوم الضغط مقارنة بـ BAP<sub>1</sub> (40%) لدراسة الحالية.

- نتائج مسحوق الأجر (20%) للفوج الآخر حققت أعلى مقاومة ضغط مقارنة مع فوجنا BAP<sub>1</sub> (40%) ، وكذلك نتائج مسحوق الرخام (20%) للفوج الآخر حققت أعلى مقاومة ضغط مقارنة بفوجنا BAP<sub>2</sub> (15%) و الذي يعتبر أنه حقق أعلى مقاومة ضغط بالنسبة لفوجنا .

### 3-4-2/- اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء (NF P18 - 433) :

يهدف هذا الاختبار لمراقبة العينات لمقاومة الشد عن طريق الانحناء ، يتم إجراء هذا الاختبار على عينات موشورية بأبعاد ( 7 x 28 x 7 ) سم<sup>3</sup> .



الشكل (24-IV): اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء .

تحسب قوة انحناء الشد  $\sigma_f$  بالعلاقة التالية :

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2a^3}$$

بحيث :

**F** : قوة الكسر .

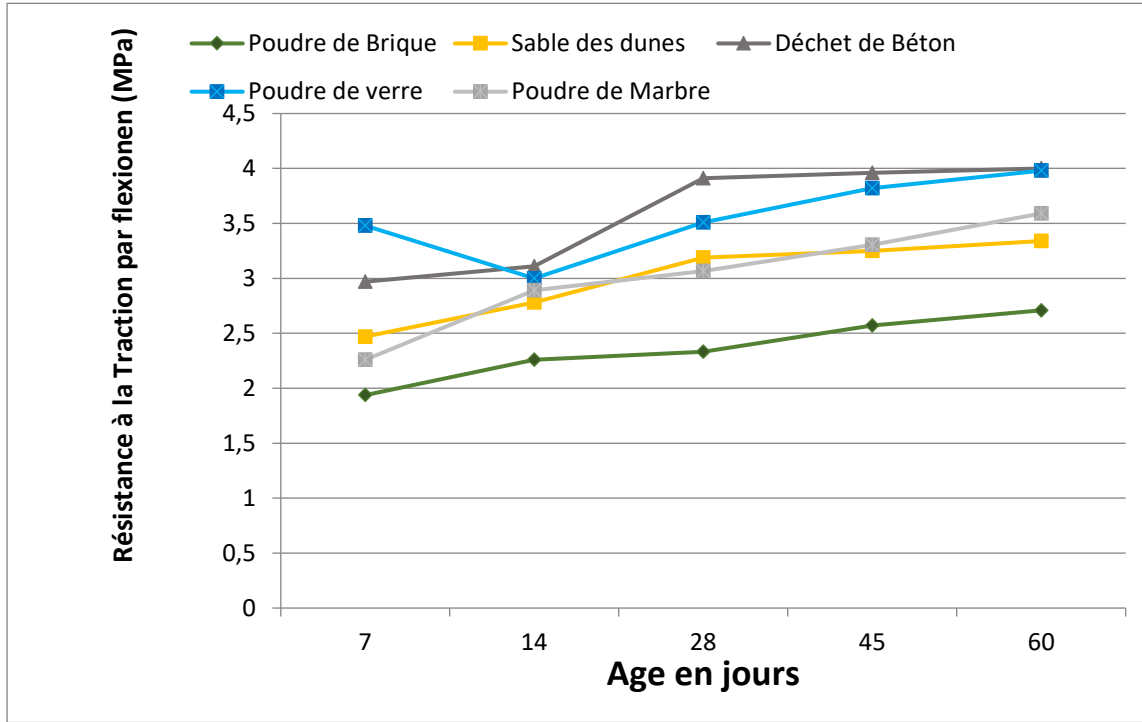
**L** : المسافة بين الدعامتين .

**A** : أبعاد المقطع العرضي .

3-4-2-1/- الخطة I:

الجدول (IV-16) : قيم اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء .

	Poudre de Brique	Sable des dunes	Déchet de Béton	Poudre de verre	Poudre de Marbre
7	1,937755	2,47	2,97	3,48	2,26
14	2,259184	2,78	3,11	3,00	2,89
28	2,332653	3,19	3,91	3,51	3,07
45	2,571429	3,25	3,96	3,82	3,31
60	2,709184	3,34	4,00	3,98	3,59



الشكل (IV-25) : منحى اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء

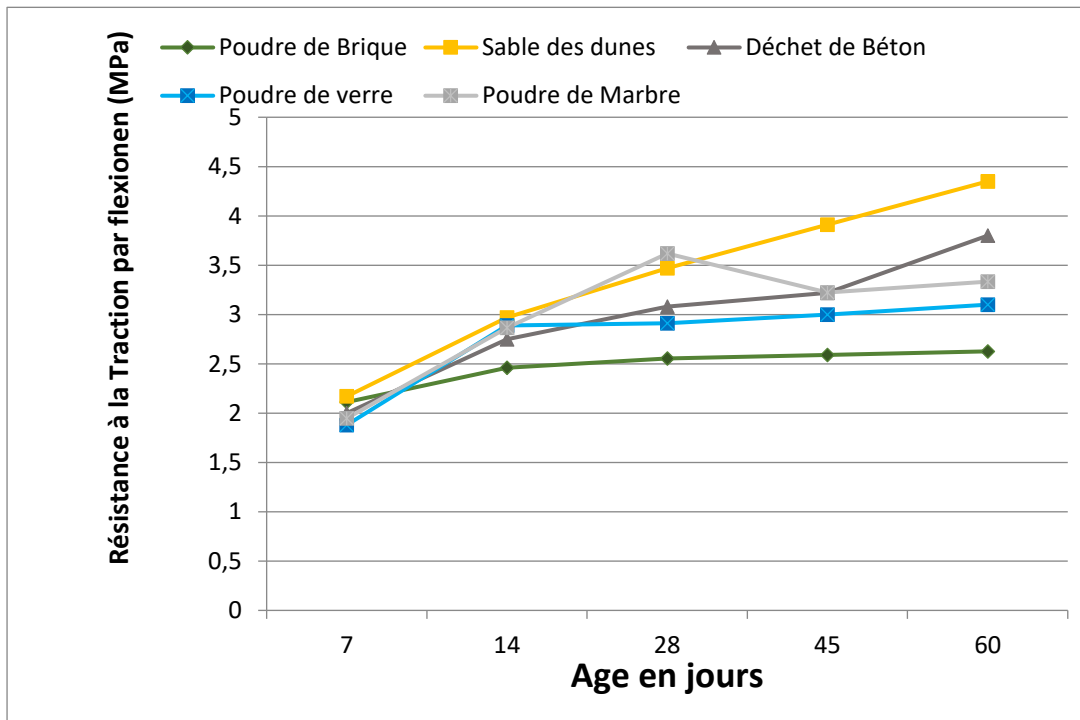
تفسير النتائج :

تزداد قوة الشد عن طريق الانحناء مع مرور الوقت , نلاحظ من العمر ( 7 , 28 ) يوم قوة الشد عن طريق الانحناء في تزايد لجميع أنواع الخرسانة المدروسة, وعند العمر 60 يوم سجلت أعلى قوة شد عن طريق الانحناء لـ BAP<sub>4</sub> BAP<sub>3</sub> BAP<sub>2</sub> تليها BAP<sub>5</sub> وأخيرا BAP<sub>1</sub> .

## 3-4-2-2- II: الخلطة

الجدول (IV-17) : قيم اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء .

	Poudre de Brique	Sable des dunes	Déchet de Béton	Poudre de verre	Poudre de Marbre
7	2,112245	2,17	2,00	1,88	1,95
14	2,461224	2,97	2,75	2,89	2,87
28	2,553061	3,47	3,08	2,91	3,62
45	2,589796	3,91	3,22	3,00	3,22
60	2,626531	4,35	3,80	3,10	3,33

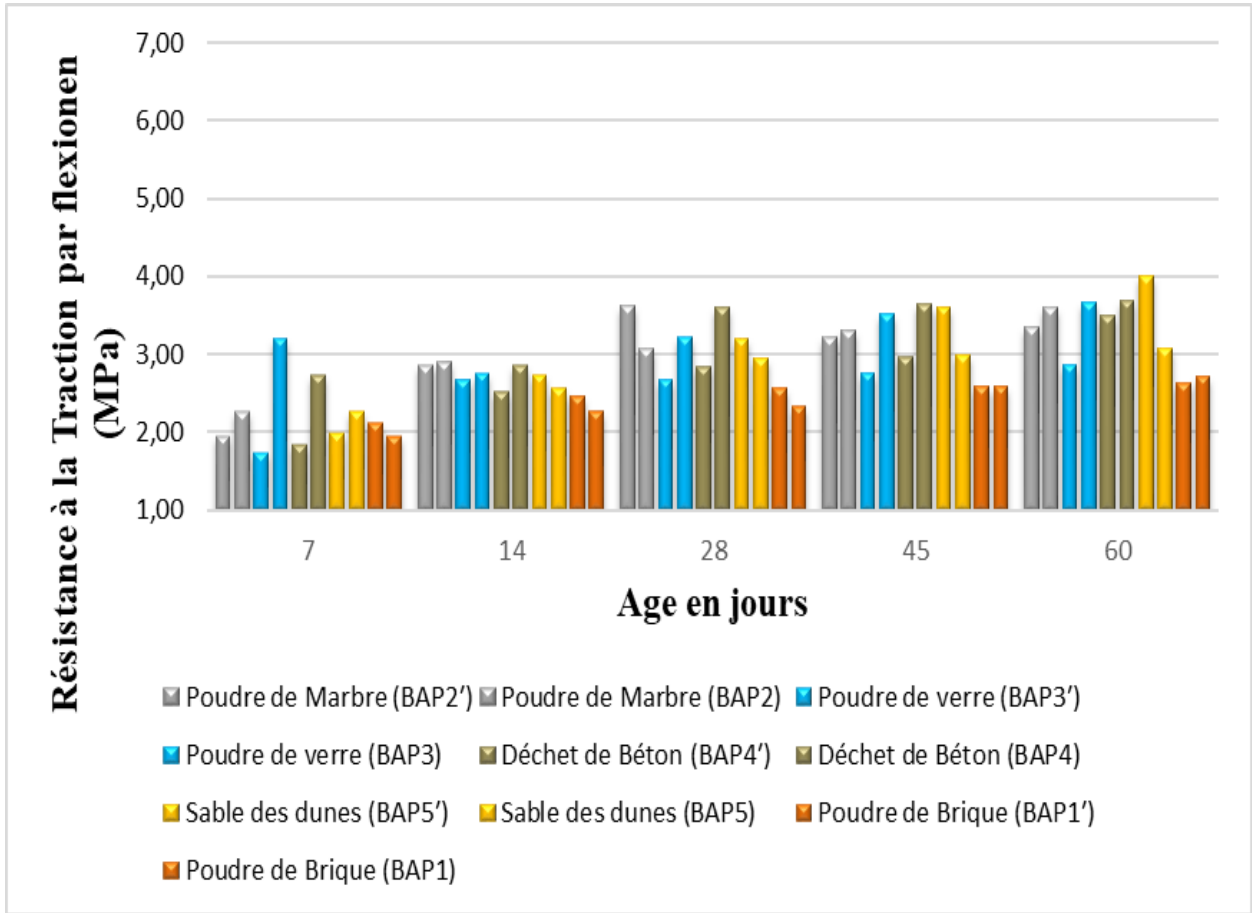


الشكل (IV-26) : منحى اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء

تفسير النتائج :

تزداد قوة الشد عن طريق الانحناء مع مرور الوقت , نلاحظ عند العمر ( 7 , 28 ) يوم جميع أنواع الخرسانة المدروسة في تزايد, وعند العمر 60 يوم أن BAP<sub>5</sub> كانت أعلى قوة انحناء عن طريق الشد تليها BAP<sub>4</sub> تليها BAP<sub>2</sub> تليها BAP<sub>3</sub> وأخيرا BAP<sub>1</sub> .

3-4-2-3- المقارنة بين الخلطات :



الشكل (IV-27): منحنى اختبار مقاومة الشد عن طريق الانحناء

التعليق على النتائج:

من خلال الأعمدة البيانية نلاحظ عند العمر 28 يوما نتائج الخرسانة مسحوق الأجر للخلطة I (40%) مقاومتها للانحناء عن طريق الشد أقل من الخلطة II (25%) أما عند العمر 60 يوما كانت العكس، أما بالنسبة لخرسانة مسحوق الرخام عند العمر 28 يوما نتائج الخلطة I (15%) مقاومتها للانحناء عن طريق الشد أقل من الخلطة II (25%) أما عند العمر 60 يوما كانت العكس، أما بالنسبة لخرسانة مسحوق الزجاج عند العمر (28,60) يوما نتائج الخلطة I (15%) مقاومتها للانحناء عن طريق الشد أعلى من الخلطة II (25%)، أما بالنسبة لخرسانة مسحوق الخرسانة عند العمر (28,60) يوما نتائج الخلطة I (15%) مقاومتها للانحناء عن طريق الشد أعلى من الخلطة II (25%)، أما بالنسبة لخرسانة مسحوق رمل الكثبان عند العمر (28,60) يوما نتائج الخلطة I (40%) مقاومتها للانحناء عن طريق الشد أقل من الخلطة II (15%).

- من خلال الأعمدة البيانية لاحظنا قوة مقاومة الشد عن طريق الانحناء عند العمر 60 يوم لـ BAP<sub>5</sub> (40%) تميزه بأعلى قوة مقاومة لشد عن طريق الانحناء من جميع أنواع الخرسانة المدروسة لسنة

- الحالية , مقارنة بـBAP<sub>5</sub>(25%) لدراسة السابقة ، لاحظنا من خلال النتائج أن جميع المساحيق في الخلطة I حققت أعلى قوة الانحناء عن طريق الشد بالنسبة للخلطة II.
- في السنة الماضية سجلت BAP<sub>1</sub>(15%) أعلى قوة مقاومة لشد عن طريق الانحناء مقارنة بـBAP<sub>1</sub>(40%) لدراسة الحالية.
  - نتائج مسحوق رمال الكثبان (20%) للفوج الآخر حققت أعلى مقاومة للشد عن طريق الانحناء مقارنة بفوجنا BAP'<sub>5</sub>(15%) ، كما كانت نتائج مسحوق الخرسانة BAP'<sub>4</sub>(30%) للفوج الآخر أعلى مقاومة للشد عن طريق الانحناء مقارنة بفوجنا BAP<sub>4</sub>(15%) .

#### IV-4- الاستنتاجات و التوصيات :

##### الاستنتاج :

تهدف دراستنا إلى تثمين نفايات مواد البناء و استغلالها في الخرسانة ذاتية التوضع كإضافات من الاسمنت و كذلك لتحديد خصائصها و تأثيرها على خصائص خرسانة ذاتية التوضع في الحالتين الطازجة و المتصلبة و التفكير في استعمال هذه المساحيق و أخذ كميات منخفضة من الاسمنت لإنتاج الخرسانة ذاتية التوضع ، كما أن زيادة كمية الاسمنت في الخلطات له تأثير كبير على خواص الخرسانة ذاتية التوضع من حيث التشغيل.

وأظهرت نتائج الاختبارات للخرسانة ذاتية التوضع في الحالة الطازجة التي تحتوي على نسب مختلفة من مساحيق نفايات البناء المضافة على تشغيلية جيد.

الاستنتاج الذي أظهرته لنا هذه النتائج أتضح لنا أن نفايات البناء المحلية تنتج خرسانة جيدة من حيث الأداء الطازج و المتصلب ، فمن خلال جميع النتائج المتحصل عليها لدراساتنا للخلطتين لاحظنا أن نسب الخلطة I كانت معظم قيمها أحسن من الخلطة II سواء في التجارب التحطيمية و الغير تحطيمية.

##### التوصيات :

من خلال نتائج دراستنا نقترح بعض التوصيات للحصول على نتائج أفضل و هي على النحو التالي :

- نوصي إتمام الدراسة و لكن بنسب مختلفة على التي درست لتوصل إلى نتائج مغايرة و ليتسنى صياغة الخرسانة ذاتية التوضع .
- التركيز على الحفاظ على التشغيلية من خلال اختيار الملدن المناسب .
- دراسة إمكانية استعمال أنواع أخرى من الاسمنت مختلفة التركيبية و المصادر الكيميائية و تأثير استعمالها على تركيبة الخرسانة ذاتية التوضع .
- دراسة أنواع أخرى من المحسنات الفائقة المستعملة من مصادر و تركيبات كيميائية أخرى و بتركيز مختلف و ما ذا تأثير ذلك على خواص الخرسانة .



# قائمة المراجع

قائمة المراجع :

مراجع الفصل الأول I :

- [1] Ouchi, Nakamura , Osterson , Hallberg , and Lwin , " Applicatios of self – compacting concrete in Japan , Europe and the United States " , ISHPC 2003 :Tokyo – Odaiba , Japan
- [2] الخواص الطرية للخرسانة ذاتية الرص عالية المقاومة (الهام خليل محمد) .
- [3] محاضرات مقياس : الخرسانة المستحدثة I جمع و إعداد الاستاذ : محمد ماني لسنة 2021/2020 .
- [4] Mager El BARRAK "contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons auto plaçants a l'état frais thés doctorat de l'université Toulouse III – Paul Sabatier ;2005
- [5] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai\\_d%27%C3%A9talement\\_au\\_c%3%B4ne\\_d%27Abrams](https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_d%27%C3%A9talement_au_c%3%B4ne_d%27Abrams)  
[https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai\\_de\\_stabilit%C3%A9\\_au\\_tamis](https://fr.wikipedia.org/wiki/Essai_de_stabilit%C3%A9_au_tamis)
- [6] موقع أعضاء هيئة التدريس بجامعة ...  
<https://staffsites.sohag-univ.edu.eg>
- [7] اختبار الموجات فوق الصوتية في الخرسانة  
<https://www.archiandart.com>
- [8] Engineerig Books "...<https://www.engineeringbooks.me>"ultras
- [9] GR. Anstis, P. Chantikul, BR. Lawn, "A critical evaluation of indentation techniques for measuring fracture toughness: I, Direct crack measurements". J. Am. Ceram. Soc, Vol.64, pp.533–538, 1981.
- [10] D.G. Bhat, "Comment on elastic/plastic indentation damage in ceramics: The median/radial crack system,".J. A,Cer, Soc, Vol.64, C165-C-166, 1981.
- [11] A.Pertuz, "Indentation Vickers et Knoop des matériaux massifs ou revêtus : dureté ; ténacités et adhérence," Thèse de Doctorat, Université de Lille 1 (France), 2003.
- [12] Formulation et caractérisation d'un béton autoplaçant-ENP  
<https://repository.enp.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/3046/1/REBBOUH.Naima.pdf>
- [13] **Mémoire de** .  
**Master**
- ETUDE COMPARATIVE DE DURABILTE  
ENTRE LES BETONS AUTOPLACANTS ET LES BETONS ORDINAIRES  
Sous la direction de : Pr. BENMARCE ABDELAZIZ  
Juin 2018
- [14] G.M. Pharr, "Measurement of mechanical properties by ultra-load indentation," Mater. Sci. Eng., A 253 (1-2), p.151, 199
- [15] Turcry P., « Retrait et Fissuration des Bétons Autoplaçants Influence de la Formulation », Thèse Doctorat Ecole centrale de Nantes, N° ED 036-11, soutenue le 03 Février 2004
- [16] Y. L. Chiu , A. H. W. Ngan, "Time-dependent characteristics of incipient plasticity in nanoindentation of a Ni3Al single crystal," Acta Materialia, vol.50, N°.6, p.1599, 2002.

[17] كتاب الخرسانة للدكتور محمود إمام PDF-Scribd  
w4eHTcdEIIIMxCQldxSPZNNgmSb4wRI3RDyWByt99

## مراجع الفصل الثاني II :

- [1] Effet des additions minérales sur les propriétés d'usage des bétons
- [2] رسالة ماجستير مقدمة من عبدولاي محمد علي في جامعة شيربروك، كندا، عام 2019
- [3] Santamaria Diaz, N. K. (2018). Valorisation des granulats recyclés dans le béton : Influence sur les propriétés à l'état frais et durci. Université de Sherbrooke[3]
- [4] "Étude des propriétés rhéologiques et mécaniques du béton à base de ciment"  
جامعة البليدة 1، الجزائر[4]
- [5] Jean-Michel Torrenti, Laetitia D'Aloia-Schwartzentruber  
*Le grand livre des bétons: Connaissances et pratiques – Avancées environnementales – Réglementation et cadre normatif*  
Éditions du Moniteur, 2014.[5]
- [6] "Combination of Polymeric Superplasticizers, Water Repellents and Pozzolanic Agents to Improve Air Lime-Based Grouts for Historic Masonry Repair"  
*Polymers*, 2020.[6]
- [7] Forecasting the rheological state properties of self-compacting concrete"\*\*\*  
المصدر: National Center for Biotechnology Information (NCBI)[7]
- [8] Cement and Concrete Research 2022، المجلد 152، فبراير
- [9] Neville, A. M. (2011). Properties of Concrete, 5th Edition, Pearson Education.  
Référence dans le texte
- [10] Cement and Concrete Research (Materials and Structures)
- [11] **Mémoire de .** **Master**  
ETUDE COMPARATIVE DE DURABILITE  
ENTRE LES BETONS AUTOPLACANTS ET LES BETONS ORDINAIRES  
Sous la direction de : Pr. BENMARCE ABDELAZIZ  
Juin 2018

## مراجع الفصل الثالث III :

- [1] الكثافة المطلقة والظاهرية مذكرة تخرج مهندس دولة
- [2] معامل نعومة الرمل و ماء الخلط و إختبار مكافئ الرمل من مذكرة الدكتور
- [3] مقال حول الاسمنت لمجمع لافراج
- [4] الإضافات الكيميائية من مرجع دراسة خبث الافران للرمل كبديل جزئي

الملاحق

# Sika® ViscoCrete® TEMPO-12

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

## INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

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

## CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

Sika® ViscoCrete® TEMPO-12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

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

## DOMAINES D'APPLICATION

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

## AGRÈMENTS / NORMES

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

PV CNERIB : DTEM/108/2017

## DESCRIPTION DU PRODUIT

### Conditionnement

- Fût de 230 kg
- Çuği de 1100 kg
- Vrac

### Durée de Conservation

12 mois dans son emballage d'origine intact.

### Conditions de Stockage

À l'abri du gel.

En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une

### Aspect / Couleur

fois dégelé lentement et réhomogénéisé.  
Liquide brun clair à foncé

### Densité

1,06 ± 0,01

### Valeur pH

4,5 ± 1,0

### Teneur Totale en Ions Chlorure

≤ 0,1 %

### Équivalent Oxyde de Sodium

≤ 1 %



ALGÉRIE



50kg

**متين**  
**MATINE**



### **Ciment portland au Calcaire**

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

**Matine** Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments

**Matine**  
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

**Matine** est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 – 2013) et Européenne (EN 197-1)

#### **AVANTAGES PRODUIT**



- Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe Vraie qui offre une haute performance au béton.
- Meilleure durabilité du béton.