



Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE : (Master)

Filière : Génie Civil
Option : Matériaux de construction

**THÈME : ETUDE DE L'EFFET DE L'EAU
THERMALE SUR LES PROPRIETES DU
MORTIER ET BETON**
(Cas de la station thermale de Hammam El Bibane)

Préparé par :

DJENDI Zoubir
BEDDAR Islam Taki Eddine

Devant le jury :

Président : LOGZIT Nacer

Rapporteur : Dr. RAHMOUNI Zine El Abidine

Co-Rapporteur : Dr. MESSAOUDENE Ibrahim

Examineur : BENAICHI El Hadj

Examineur : MOUHAMADI Said

Examineur : LOUMACHI Lazhar

Année Universitaire 2012-2013

Remerciement

Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire du département de Génie Civil de l'université d'Al Bachir El Ibrahimy de BORDJ BOU ARRERIDJ. Pour cela je profite de l'occasion pour remercier tous les membres de ce laboratoire.

Comme je tiens à présenter tous mes remerciements à mes encadreurs Monsieur RAHMOUNI Zine Al Abidine et Monsieur MESSAOUDANE Ibrahime pour leur supervision efficace et éclairée, leurs conseils précieux et leur disponibilité tout le long de ces mois qu'ils m'ont soutenu.

Merci spécialement, aussi, pour mademoiselle TABALE Nadia pour son inquiétude, son aide, et sa présence à mes cotés.

Je tiens aussi à remercier Monsieur LOGZITE Nacer pour m'avoir fait l'honneur d'accepter la présidence du jury et remercie également, tous les membres, Messieurs : MOUHAMADI Said, BENAICHI Al Hadj et LOUMACHI Lazhar.

Je remercie également Monsieur le directeur de la direction des anciens moudjahidines et tous les membres du laboratoire du LTPO.

J'exprime toute ma reconnaissance à ma famille pour leurs soutiens, sans oublier mes collègues et mes amis.

Résumé

Plusieurs questions restent encore à poses notamment en ce qui concerne le comportement de béton et de mortier soumis aux eaux thermales. Dans ce travail, nous avons étudié le cas de Hammam EL Bibane, qui est caractérisé par une température élevée ($70\pm 5^{\circ}\text{C}$) et une eau agressive.

Pour étudier l'effet de l'eau thermique sur le béton et le mortier on a formulé trois types de béton et de mortier (témoin, béton à base de ciment avec ajout de pouzzolane, et béton avec adjuvants (MEDAFUGE L ou MEDACCEL T85)) conservés dans différents milieux à différentes températures représentant les caractéristiques de l'eau thermique.

Les résultats obtenus ont montré que :

Une chute considérable des résistances mécanique à 28 jours par rapport au béton témoin conservé dans l'eau potable à $20\pm 5^{\circ}$ de l'ordre de :

- 25 % pour béton + pouzzolane.
- 10.6 % pour beton + adjuvant (MEDAFUGE L).
- 14.8 % pour beton + adjuvant (MEDACCEL T85).

Néanmoins, les résistances à 7 jours ont augmentés de l'ordre de 9 % à 31 % Cela est du à l'effet de température qui joue le rôle d'accélérateur de prise aux premiers jours.

Le principal résultat de cette étude est celui du béton avec adjuvant MEDAFUGE L qui résiste mieux à l'eau thermique.

Mots clés :

Durabilité, eau thermique, milieu agressif, béton, mortier, caractéristiques mécaniques, adjuvant, pouzzolane

ملخص:

العديد من المسائل لا تزال بحاجة إلى أن تفسر خاصة فيما يتعلق بسلوك كل من الخرسانة والملاط تحت تأثير مياه الحمامات المعدنية الحارة. في هذا البحث، درسنا حالة حمام الببيان، الذي يتميز بمياه تحتوي على مواد ضارة بالخرسانة و ارتفاع في درجة الحرارة ($70 \pm 5^\circ\text{C}$).

لدراسة تأثير مياه الحمامات المعدنية الحارة على الخرسانة والملاط قمنا بإستخدام ثلاثة أنواع من الخرسانة والملاط (شاهد، CRS+POUZZOLANE، CRS+MEDAFUGE L، CRS+MEDACCEL T85) موضوعة في محيطات مختلفة ذات درجات حرارة مختلفة وذلك لتمثيل محيط مياه الحمامات المعدنية الحارة.

أظهرت النتائج ما يلي:

انخفاض كبير في القوة الميكانيكية في 28 يوما مقارنة مع الشاهد الذي أبقى في الماء عند 20 ± 5 درجة بالنسب التالية:

- 25 % للخرسانة التي تحتوي على البوزلان
- 10.6 % للخرسانة + MEDAFUGE L
- 14.8 % للخرسانة + MEDACCEL T85

ومع ذلك، زادت المقاومة في سبعة أيام من 9% إلى 31% ويرجع ذلك إلى تأثير درجة الحرارة التي تلعب دور المسرع في الأيام الأولى.

والنتيجة الرئيسية لهذه الدراسة بينت أن الخرسانة + MEDAFUGE L هي الأكثر مقاومة مياه الحمامات المعدنية الحارة

TABLE DES MATIERES :

INTRODUCTION GENERALE

I. Introduction	01
II. Objectif de travail	01
III. Plan de travail	01

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LE BETON

I.1. Introduction	04
I.2. Le béton	04
2.1. Formulation de béton	04
2.2. Classification du béton	05
2.3. Etude de la composition du béton	06
2.4. Constituants de béton	07
2.4.1. Le ciment	07
a. Introduction	07
b. Constituants du ciment	08
c. Type de ciment	09
d. Caractéristiques mécanique du ciment	10
2.4.2. LES GRANULATS	11
1. Généralité	11
2. Les différents types des granulats	11
2.1. Les granulats naturels	11
2.2. Les granulats artificiels	12
3. Classifications des granulats	13
3.1. Gravier	13
a. Définition	13
b. Granularité de gravier	14
c. Nature de gravier	14
d. Forme de gravier	14
3.2. Sable	15
a. Définition	15
b. Classification de sable.....	15
c. Rôle du sable dans le béton	16
d. Caractéristiques des sables à la fabrication du béton	16
4. Eau de gâchage	16
a. Caractéristiques physiques	17
b. Caractéristiques chimiques	17
5. Les ajouts	17
a. Définition	17
b. La pouzzolane naturelle	18
6. Adjuvant	18
I.3. Propriétés principales du béton frais	19
a. L'ouvrabilité du béton frais	19
b. Résistance du béton frais	20
I.4. Caractéristiques principales du béton durci	21
a. Le retrait de béton	21

b. Mécanisme de la fissuration	21
c. La dilatation	23
d. Le fluage	23
e. Élasticité du béton	24
f. Effet «Poisson»	24

CHAPITRE II : GENERALITE SUR LES EAUX THERMALES

II.1 Historique	27
II.2. Quelques définitions (définitions officielles et ambiguïté de certains termes)	27
a .Eau thermale	27
b. Eau minérale	28
II.3 .Les sources thermales en l'Algérie	28
a. Les stations thermales médicalisées	28
II .4. Etude cas de HAMMAM EL BIBANE	34
II.4.1. Reconnaissance de site	34
a. Situation	34
II.4.2. RECONNAISSANCE DU SOL	36
1. Essais sur le terrain	36
a. Programme des essais in-situ suivant les essais de L.T.P.O	36
b. Puits de reconnaissance	36
c. Pénétrromètre dynamique suivant les essais de L.T.P.O	37
2. ESSAIS AU LABORATOIRE	38
a. Résultats des analyses chimiques du sol	38
b. SPECIFICATIONS	38
II.4.3. RECONNAISSANCE DE L'EAU	39
a. Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau thermale (station thermal EL BIBANE)	39
II.4.4. Quelques images représentant les effets de l'agressivité du sol et de l'eau sur les conduites et les constructions	40
a. Les conduites	40
b. Les constructions	41
c. Les revêtements	41

CHAPITRE III : CARACTERISATION DES MATERIAUX

III.1. INTRODUCTION.....	43
III .2 : Caractérisation du sable de dune (BOUSSAADA)	43
1. la masse volumique apparente à l'état lâche.....	43
a. Masse volumique à l'état lâche	43
b. La masse volumique apparente a l'état compact.....	44
2. La masse volumique absolue	44
3. La porosité	45
4. La compacité	45

5. L'indice de vide	46
6. Degré d'absorption	46
7. Equivalent de sable	47
a. Equivalent de sable visuel (E.S.V)	47
b. Equivalent de sable piston	48
8. Analyse granulométrique du sable (M= 2 kg)	48
III.3. Caractérisation du gravier (3/8 et 8/15) concassé	51
1. La masse volumique apparente	51
2. La masse volumique absolue.....	52
3. La porosité	52
4. La compacité	52
5. L'indice de vide	52
6. Degré d'absorption d'eau pour le gravier	52
7. Analyse granulométrique de gravier	53
III.4. l'eau de gâchage	55
III.5. Les adjuvants	55
III.6. L'ajout de pouzzolane	56
III.7. Caractérisation du ciment (CRS MOUKAWIM)	57
1. Masse volumique apparente de ciment	58
2. Masse volumique absolue de ciment	59
3. La surface spécifique Blaine (SSB)	60
4. Mesure des temps de début et de fin de prise	61

CHAPITRE IV : FORMULATION DU BETON ET DU MORTIER

IV .1. Introduction	64
IV .2. Mortier	64
IV.3. Béton	66
a. Les composants de 1 m ³ de béton.....	67
IV.4. Essais sur mortier (flexion et compression)	68
a. Essais Mécaniques	68
1. Résistance à la flexion	68
2. Résistance à la compression	69
3. Variation de masse	74
IV .5. Essais sur béton	75
1. Etat frais	75
a. Affaissement au cône d'Abrams	75
b. La teneur en air occlus	76
c. La masse volumique a l'état frais	77
2. Essai sur béton état durci	79
a. La résistance à la compression	79
b. Variation de masse	84

CHAPITRE V : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

V.1. Introduction	86
V.2. Etude des caractéristiques physiques et mécaniques du béton et du mortier des différentes formulations et interprétation des résultats.....	86

2.1. A l'état frais	86
1. L'effet de l'affaissement	86
2. L'effet de l'air occlus	87
3. L'effet de la masse volumique	88
2.2. A l'état durci	89
1. Influence de milieu de conservation sur la résistance de béton et de mortier.....	89
2. Influence de super plastifiant sur la résistance de béton et de mortier	91
3. L'influence de la température de l'eau thermique sur la résistance a la compression	92
4. Les pertes des poids	94

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

LISTE DES FIGURES :

Figure (II.1): Résistance du béton frais	21
Figure (II.1): Hammam Boughrara (Tlemcen).....	29
Figure (II.2): Hammam Bouhadjar (Ain Temouchent).....	30
Figure (II.3): Hammam Bouhanifia.....	31
Figure (II.4): Hammam Rabbi (Saïda).....	31
Figure (II.5): Hammam Righa (AinDefla).....	32
Figure (II.6) : Hammam Guergour (Sétif).....	32
Figure (II.7) : Hammam Meskoutine (Guelma).....	33
Figure (II.8) : Carte géographique représenté la situation de HAMMAM EL BIBANE...	34
Figure (II.9) : Carte topographique représenté la situation de station thermale.....	35
Figure (II.10) : Dégradation sur les conduites en amiante.....	40
Figure (II.11) : Dégradation sur les conduites en PVC.....	40
Figure (II.12) : Dégradation sur dalles plain et les tempos.....	41
Figure (II.13) : Dégradation des murs extérieurs (peinture).....	41
Figure (III.1) : Analyse granulométrie de sable.....	50
Figure (III.2) : Défèrents types de graviers.....	51
Figure (III.3) : Analyse granulométrie de gravier 3/8.....	54
Figure (III.4) : Analyse granulométrie de gravier 8/15.....	54
Figure (IV.1) : Milieu ambiant.....	65
Figure (IV.2) : Eau thermal à température ($20^{\circ}\text{c}\pm 5^{\circ}\text{c}$).....	65
Figure (IV.3) : Eau thermal à température ($70^{\circ}\text{c}\pm 5$).....	65
Figure (IV.4) : Milieu humide potable ($20\pm 5^{\circ}\text{C}$).....	66
Figure (IV.5) : Eprouvette de mortier après l'essai de compression.....	68
Figure (IV.6): L'affaissement au Conne D'aBrhams.....	75
Figure (IV.7): Variation du pourcentage de l'air occlue selon le type du béton	77
Figure (V.1) : L'affaissement des différents types de béton.....	86
Figure (V.2) : Variation du pourcentage de l'air occlue selon le type du béton.....	87
Figure (V.3) : Masse volumique de béton.....	88
Figure (V.4) : Résistance à la compression du mortier dans le milieu ambiant et l'eau potable	89
Figure (V.5) : Résistance à la compression du béton dans le milieu ambiant et l'eau potable	89
Figure (V.6) : Résistance à la compression du mortier dans l'eau potable et l'eau thermal	90
Figure (V.7) : Résistance a la compression du béton dans l'eau potable et dans l'eau thermal.....	90
Figure (V.8) : Influence de super plastifiant sur la résistance du mortier	91
Figure (V.9) : Influence de super plastifiant sur la résistance du béton	91
Figure (V.10) : Résistance à la compression du mortier à températures différentes	92
Figure (V.11) : Résistance à la compression du béton à températures différentes	92
Figure (V.12): Perte de masse dans le milieu ambiant pour le mortier	94
Figure (V.13) : Perte de masse dans le milieu ambiant pour le béton	94
Figure (V.14) : Gain de masse dans l'eau potable pour le mortier	95
Figure (V.15) : Gain de masse dans l'eau potable pour le béton	95
Figure (V.16) : Gain de masse dans l'eau thermal $T=20^{\circ}\text{c}$ pour le mortier	96
Figure (V.17) : Gain de masse dans l'eau thermal a $T=20^{\circ}\text{C}$ pour le beton	96
Figure (V.18): Gain de masse dans l'eau thermal $T=70^{\circ}\text{c}$ pour le mortier	97
Figure (V.19): Gain de masse dans l'eau thermal $T=70^{\circ}\text{c}$ pour le beton	97

Figure (V.20): Variation de la masse du mortier dans differents milieux	98
Figure (V.21): Variation de masse pour le béton dans differents milieux	98

LISTE DES TABLEAUX

Tableau (I.1): Classes de résistance du béton.....	6
Tableau (I.2) : Principaux ciment.....	9
Tableau (I.3) : Classes de résistances des ciments.....	10
Tableau (I.4): Teneur minimale en ciment	10
Tableau (I.5): Classement des granulats.....	13
Tableau (I.6): Refus cumulés sur tamis	14
Tableau (I.7): caractéristiques physiques de pouzzolane	18
Tableau (I.8): Caractéristiques et dosage des adjuvants (MDF, MDACCL).....	19
Tableau (I.9): Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône	20
Tableau (II.1) : Analyse chimique de sol	38
Tableau (II.2) : Classe d'agressivité selon la quantité de SO ₄ dans le sol.....	38
Tableau (II.3) : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau thermale.....	39
Tableau (III.1) : Masse volumique apparente de sable à l'état lâche.....	43
Tableau (III.2) : Masse volumique apparente de sable à l'état compact	44
Tableau (III.3) : Masse volumique absolue de sable	45
Tableau (III.4) : La porosité, La compacité et L'indice de vide.....	46
Tableau (III.5) : Degré d'absorption.....	46
Tableau (III.5) : Equivalent de sable.	48
Tableau (III.6) : Analyse granulométrique du sable.....	49
Tableau (III.7) : Masse volumique apparent de gravier	51
Tableau (III.8) : Masse volumique absolue de gravier.	52
Tableau (III.9): La porosité, La compacité et L'indice de vide.....	52
Tableau (III.10) : Degré d'absorption d'eau pour le gravier.....	52
Tableau (III.11) : Analyse granulométrique de gravier (3/8,8/15).	53
Tableau (III.12) : Analyse chimique de l'eau de robinet.....	55
Tableau (III.13) : Caractéristiques des adjuvants (MDF, MDAC)	56
Tableau (III.14) : Quantité des solides dans les adjuvants.....	56
Tableau (III.15) : Caractéristique physique de l'ajout pouzzolane.....	57
Tableau (III.16) : Masse volumique apparente du ciment.....	58
Tableau (III.17) : Masse volumique absolue du ciment.....	59
Tableau (III.18) : Surface spécifique Blaine.....	61
Tableau (III.19) : Début et fin de prise.	62
Tableau (IV.01) : Formulation des mortiers.....	65
Tableau (IV.2) : Formulation des bétons.	66
Tableau (IV.3) : Conservation dans un milieu ambiant.....	70
Tableau (IV.4) : Conservation dans l'eau potable.....	70
Tableau (IV.5) : Conservation dans l'eau thermal (l'eau du hammâm) à température T=20±5°C	71
Tableau (IV.6) : Conservation dans l'eau thermal (l'eau du hammâm) température T=70±5°C.....	71
Tableau (IV.7) : Conservation dans un milieu ambiant	72
Tableau (IV.8) : Conservation dans l'eau potable	72
Tableau (IV.9): Conservation dans l'eau thermal (l'eau du hammâm) à température T=20±5°C	73
Tableau (IV.10) : Conservation dans l'eau thermal (l'eau du hammâm) à température T=70±5°C	73
Tableau (IV.11) : Variation de masse des types de mortier selon le milieu de conservation	74

Tableau (IV.12) : L'affaissement des bétons formulés.....	75
Tableau (IV.13) : L'air occlus dans différents types du béton	76
Tableau (IV.14) : La masse volumique pour béton ordinaire.....	77
Tableau (IV.15) : La masse volumique pour béton ajouts pouzzolane.....	78
Tableau (IV.15) : La masse volumique pour béton avec adjuvant MDF	78
Tableau (IV.16) : La masse volumique pour béton avec adjuvant MDCCL.....	79
Tableau (IV.17) : Conservation dans un milieu ambiant.	80
Tableau (IV.18) : Conservation dans l'eau potable à température (20±5c°).....	80
Tableau (IV.19) : Conservation dans l'eau thermale à température T = 20±5c°.....	81
Tableau (IV.20) : Conservation dans l'eau thermale température T = 70 ± 5°C.....	81
Tableau (IV.21) : Conservation dans un milieu ambiant	82
Tableau (IV.22) : Conservation dans l'eau potable à température (20+5c°).....	82
Tableau (IV.23) : Conservation dans l'eau thermale à température T = 20±5c°.....	83
Tableau (IV.24) : Conservation dans l'eau thermale température T = 70 ± 5°C.....	83
Tableau (IV.25) : Variation de la masse dans différents milieux	84

Introduction générale

I. Introduction :

L'évaluation actuelle que connaissent les bétons dans les pays industrialisés et ceux en voie de développement est liée aux meilleures connaissances acquises sur ce matériau grâce aux nombreuses recherches menées à travers le monde. Ces recherches ont prouvé que les bétons en général possèdent des caractéristiques mécaniques intrinsèques très satisfaisantes. Cependant, plusieurs questions restent encore posées notamment en ce qui concerne leur comportement sous des conditions agressives à température élevée tel que les eaux thermales.

Malgré le bon fonctionnement du béton ordinaire à température ambiante ($20\pm 5^\circ\text{C}$), mais peut présenter un comportement critique dans un milieu agressif (eau thermale) dont la température peut atteindre (80°C) qui peut dans certaines conditions se traduire par l'écaillage et l'éclatement du béton.

II. Objectif de travail :

L'objectif de ce travail est de faire un état de connaissance sur les éléments agissant sur le comportement du béton soumis aux eaux thermales. Les propriétés physiques et mécaniques des bétons et des mortiers sont mises en évidence.

Nous avons considéré trois types de bétons et mortiers :

- Béton ordinaire et mortier ordinaire.
- Béton et mortier à base de ciment CRS avec ajout de 15% de pouzzolane.
- Béton et mortier à base de ciment CRS avec adjuvants (MEDAFUGE L ou MEDACCEL T85).

III. Plan de travail :

➤ **Introduction générale :**

Chapitre 01 :

Généralités sur le béton.

➤ **Chapitre 02 :**

Généralités sur les eaux thermales.

➤ **Chapitre 03 :**

Caractérisation des matériaux utilisés.

Introduction générale

➤ **Chapitre 04 :**

Formulation du mortier et du béton.

➤ **Chapitre 05 :**

Résultats et interprétations.

➤ **Conclusion générale et perspectives**

I.1. Introduction :

Le béton à été depuis longtemps le matériau de construction, le plus courant utilisé dans l'avenir ; tout comme dans le cas dans les autres industries, le besoin universel de conserver les ressources de protéger l'environnement et bien utiliser l'énergie doit nécessairement se faire ressentir dans le domaine de la technologie de béton.

Si le matériau est plastique donc modulable lors de sa fabrication, il acquiert ses propriétés au cours du temps. Une fois mature, le béton doit être considéré comme un composite constitué de granulats dont les propriétés dépendent, pour une grande part, de sa formulation.

Dans ce chapitre on présente une revue générale sur le béton ordinaire, et ces constituants (ciment, gravier, sable, eau), ainsi ces propriétés principales.

I.2. Le béton :

On sait que le béton est le matériau obtenu en solidarissant par une pâte de ciment.

Un squelette granulaire composé d'un sable et gravier, comme le liant a de propriétés hydraulique, ces bétons sont aussi appelés béton hydrauliques. [1]

2.1. Formulation de béton :

Le choix des proportions de chacun des constituants d'un béton afin d'obtenir les propriétés mécaniques et de mise en œuvre souhaitées s'appelle la formulation. Plusieurs méthodes de formulations existent, dont notamment:

- la méthode Baron.
- la méthode Bolomey.
- la méthode de Féret.
- la méthode de Faury.
- la méthode Dreux-Gorisse.

La formulation d'un béton doit intégrer avant tout les exigences de la norme NF EN 206-1, laquelle, en fonction de l'environnement dans lequel sera mis en place le béton, sera plus ou moins contraignante vis-à-vis de la quantité minimale de ciment à insérer dans la formule ainsi que la quantité d'eau maximum tolérée dans la formule.

De même, à chaque environnement donné, une résistance garantie à 28 jours sur éprouvettes sera exigée aux producteurs, pouvant justifier des dosages de ciments plus ou moins supérieurs à la recommandation de la norme, et basée sur l'expérience propre à chaque entreprise, laquelle étant dépendante de ses matières premières dont la masse volumique peut varier, notamment celle des granulats.[2]

D'autres exigences de la norme NF EN 206-1 imposent l'emploi de ciment particuliers en raison de milieux plus ou moins agressifs, ainsi que l'addition d'adjuvants conférant des propriétés différentes à la pâte de ciment que ce soit le délai de mise en œuvre, la plasticité, la quantité d'air occlus, etc. [2]

2. 2. Classification du béton :

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique:

- Béton très lourd: $> 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton lourd (béton courant): $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$.
- Béton léger: $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$.
- Béton très léger: $< 500 \text{ kg/m}^3$.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants:

- Béton de ciment (le ciment),
- Béton silicate (la chaux),
- Béton de gypse (le gypse)
- Béton asphalte.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peuvent ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect. [2]

- a) Les bétons courants sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment qu'en travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 300 kg/m^3 environ. Ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion où précontrainte.
- b) Les bétons lourds, dont les masses volumiques peuvent atteindre 600 kg/m^3 servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.
- c) Les bétons de granulats légers, dont la résistance peut être élevée, sont employés dans le bâtiment, pour les plates-formes offshore ou les ponts.
- d) Les bétons cellulaires (bétons très légers) dont les masses volumiques sont inférieures à 500 kg/m^3 . Ils sont utilisés dans le bâtiment, pour répondre aux problèmes d'isolation.
- e) Les bétons de fibres, plus récents, correspondent à des usages très variés: dallages, éléments décoratifs, mobilier urbain. [2]

La norme EN 206 classe les bétons en fonction de leur résistance caractéristique à la compression conformément au tableau (I-1). Dans ce tableau $f_{ck,cyl}$ est la résistance caractéristique mesurée sur cylindres (c'est cette résistance qui correspond à la résistance caractéristique à laquelle il est fait référence dans l'Eurocode 2) ; $f_{ck,cube}$ est la résistance caractéristique mesurée sur cubes. Les valeurs soulignées sont les valeurs recommandées. [2]

Tableau (I-1): Classes de résistance du béton. [2]

Classe	<u>C12/15</u>	<u>C16/20</u>	<u>C20/25</u>	<u>C25/30</u>	<u>C30/37</u>	<u>C35/45</u>	<u>C40/50</u>	<u>C45/55</u>	<u>C50/60</u>
$f_{ck,cyl}(Mpa)$	12	16	20	25	30	35	40	45	50
$f_{ck,cube}(Mpa)$	15	20	25	30	37	45	50	55	60

2.3. Etude de la composition du béton :

En général il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. La composition du béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires. [3]

De nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées et ingénieuses ont été élaborées. On notera qu'une étude de composition de béton doit toujours être contrôlée expérimentalement et qu'une étude effectuée en laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier. [3]

Une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes :

Le béton doit présenter, après durcissement, une certaine résistance à la compression. Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et méthodes utilisées sur le chantier. Le béton doit présenter un faible retrait (source de fissurations internes et externes : phénomène de « faïençage ») et un fluage peu important. Le coût du béton doit rester le plus bas possible. Dans le passé, pour la composition du béton, on prescrivait des proportions théoriques de ciment, d'agrégat fin et d'agrégat grossier. Mais l'élaboration des ciments ayant fait des progrès considérables, de nombreux chercheurs ont exprimé des formules en rapport avec les qualités recherchées. [3]

- Minimum de vides internes, déterminant une résistance élevée.
- Bonne étanchéité améliorant la durabilité.
- Résistance chimique.
- Résistance aux agents extérieurs tels que le gel, l'abrasion, la dessiccation.

Sur un petit chantier où l'on fabrique artisanalement et souvent bien son béton l'on utilise le vieux principe : 2/3 de gros éléments et 1/3 d'éléments fins, soit 800 litres de gravillons et 400 litres de sable par mètre cube de béton pour 350 à 400 kg de ciment. La quantité d'eau de gâchage varie trop souvent au gré du savoir-faire du maçon, la nature de ciment, l'humidité du granulat passant après la consistance du béton à obtenir.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface, et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

La composition d'un béton et le dosage de ses constituants sont fortement influencés par l'emploi auquel est destiné le béton et par les moyens de mise en œuvre utilisés. [3]

2.4. Constituants de béton :

2.4.1. Le ciment :

a. Introduction :

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450 – 1550 °C, température de fusion.[4]

Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et de durcir en présence d'eau et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium. [4]

L'expression de «pâte de ciment durcissant» sera utilisée pour désigner la pâte de ciment dans la transformation d'un état plus ou moins fluide en un état solide. [4]

b. Constituants du ciment

- Le silicate tricalcique : $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ que l'on écrit C_3S et qui représente 50 à 70% du clinker.
- Le silicate bi calcique : $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ou C_2S (10 à 30%)
- L'aluminate tricalcique : $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ou C_3A (2 à 15%)
- L'alumino-ferrite tétra calcique : $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ou C_4AF (5 à 15%)

Ces poudres constitués de sels, minéraux anhydres instables (en particulier silicate et aluminates de chaux) forment avec l'eau une pâte capable par hydratation de faire prise. Et de durcir progressivement (plus ou moins rapidement d'ailleurs), d'où le nom de liants hydrauliques par apposition avec (liant aérien à base de chaux grasse et maigre), qui ne peuvent durcir qu'en contact avec l'air. [4]

La pâte de ciment : au moment de son gâchage avec l'eau, le produit obtenu après durcissement.

Dans tout ce qui suit, on distinguera ces différents états en appelant.

Ciment anhydre : la poudre de ciment avant son gâchage avec l'eau.

Ciment hydraté : les composés, insolubles dans l'eau, obtenu par combinaison chimique de l'eau avec le grain de ciment anhydre. [4]

Pâte fraîche de ciment : le mélange d'eau et de ciment anhydre avant que l'hydratation n'ait conduit à en faire un solide appelé pâte de ciment durcie. [5]

c. Type de ciment :

Les ciments sont classés en cinq catégories principales conformément à la norme française .il sont présentés dans le tableau (I-2)

Tableau (I-2) : Principaux ciment [5]

Désignation	Type de ciment	Clinker	Laitier de haut fourneau	Fumée de silice	Pouzzolanes naturelles	Siliceuses	Calcaique	Schistescalcinés	Calcaires	Constituants secondaire
Ciment Portland	CPA CEM1	-95 100	—	—	—	—	—	—	—	0-5
Ciment portland compose	CPJ CEMII/a	94-80	06-20							
	CPJ CEMII/b	79-65	21-35							
Ciment de haut fourneau	CHF CEMIII/a	64-35	36-65	—	—	—	—	—	—	0-5
	CHF CEMIII/b	34-20	66-80	—	—	—	—	—	—	0-5
	CHF CEMIII/c	19-05	81-90	—	—	—	—	—	—	0-5
Ciment pouzzolanique	CBZCEMIV/a	90-65	—	11-35		—	—	—	—	0-5
	CBZCEMIV/a	64-45	—	36-55		—	—	—	—	0-5
Ciment laitier et aux cendre	CLCCEMV/a	64-40	18-30	—	18-30	—	—	—	—	0-5
	CLCCEMV/a	39-20	31-50	—	31-50	—	—	—	—	0-5

- CEM I: Ciment Portland (CPA)
- CEM II: Ciment Portland compose (CPG)
- CEM III : Ciment de haut fourneau (CHF)
- CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ)
- CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC)

d. Caractéristiques mécanique du ciment :

Les ciments sont classifiés par leurs classes de résistances.

Tableau (I-3) : Classes de résistances des ciments.

Classe de Résistance	Résistance minimale garantie en (N/mm ²)		
	2 jours	7 jours	28 jours
32.5	-	17.5	30
32.5R	12	-	30
42.5	10	-	40
42.5R	18	-	40
52.5	18	-	50
52.5R	28	-	50

Cette résistance est mesurée sur mortier normal Norme (EN 197-1). [3]

Dans norme AFNOR la teneur minimale en ciment détermine de la manière suivant :

Tableau (I-4): teneur minimale en ciment : (NF EN 206-1). [6]

Marteau de construction	Teneur minimale en ciment (kg/m ³)
Béton non armé (coulé gros masse)	150 à 250
Béton de route	300 à 325
Béton armé ordinaire	300 à 350
Béton spéciale (préfabriqué, précontraint...)	350 à 450

2.4.2. LES GRANULATS :

1. Généralité :

A l'origine, on considérait les granulats comme des matériaux inertes dispersés dans la pâte de ciment, et cela pour des raisons purement économiques. On peut cependant juger les granulats comme des matériaux de construction liés en une masse cohérente par une pâte de ciment. En effet, les granulats ne sont pas réellement inertes et leurs propriétés physiques, thermiques, et dans certains cas chimiques, influencent les performances du béton.

Les granulats coutent beaucoup moins chère que le ciment, ils deviennent alors économiques d'en inclure la plus grande quantité possible dans un béton contrairement au ciment. Cependant, l'aspect économique n'est pas l'unique raison qui explique l'utilisation des granulats car ces derniers confèrent au béton une plus grande stabilité sur le plan volumétrique et une meilleure durabilité que la pâte de ciment à elle seule.

2. Les différents types des granulats :

Les granulats utilisés pour le béton sont soit d'origine naturelle, soit artificiels. Leur taille variable déterminera l'utilisation du béton (les gros granulats pour le gros œuvre, les très fin pour les éléments moulés). La résistance du béton augmente avec la variété des calibres mélangés.

2.1. Les granulats naturels :

- **Origine minéralogique:**

Parmi les granulats naturels, les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques telles que les quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites, les porphyres

- **Granulats roulés et granulats de carrières :**

Indépendamment de leur origine minéralogique, on classe les granulats en deux catégories qui doivent être conformes à la norme NF EN 12620 (granulats pour bétons) [7]:

- Les granulats alluvionnaires, dits roulés, dont la forme a été acquise par l'érosion. Ces granulats sont lavés pour éliminer les particules argileuses, nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes de dimension. Bien qu'on puisse

trouver différentes roches selon la région d'origine, les granulats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires ;

- Les granulats de carrière sont obtenus par abattage et concassage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré-criblage est indispensable à l'obtention de granulats propres. Différentes phases de concassage aboutissent à l'obtention des classes granulaires souhaitées. Les granulats concassés présentent des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, régularité du banc, degré de concassage
- La sélection de ce type de granulats devra donc être faite avec soin et après accord sur un échantillon.

2.2. Les granulats artificiels :

- **Sous produits industriels, concassés ou non:**

Les plus employés sont le laitier cristallisé concassé et le laitier granulé de haut fourneau obtenus par refroidissement à l'eau. La masse volumique apparente est supérieure à 1 250 kg/m³ pour le laitier cristallisé concassé, 800 kg/m³ pour le granulé. Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers.

Les différentes caractéristiques des granulats de laitier et leurs spécifications font l'objet des normes NF P 18-302 et 18-306.

- **Granulats à hautes caractéristiques élaborés industriellement :**

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

- **Granulats allégés par expansion ou frittage :**

Ces granulats, très utilisés dans de nombreux pays comme l'URSS ou les États-Unis, n'ont pas eu en France le même développement, bien qu'ils aient des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressants. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé (norme NF P 18-309) et le laitier expansé (norme NF P 18-307). D'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m³ selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique. Les gains de poids intéressants puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m³.

- **Les granulats très légers :**

Ils sont d'origine végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé). Très légers (20 à 100 kg/m³) ils permettent de réaliser des bétons de masse volumique comprise entre 300 et 600 kg/m³. On voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles, ou rechargements sur planchers peu résistants. [7]

3. Classifications des granulats:

Les granulats sont classés en fonction de leurs dimensions par criblage sur des tamis à mailles carrées dont les dimensions intérieures sont en (mm).le terme (granulats d/D) est réservé ou granulats ont les dimensions s'étalent de d pour les petits à D pour les refus grands, le tableau suivant détermine les classes des granulats selon la norme (NF EN 12-620).

Tableau (I-5): Classement des granulats. [7]

Appellation	Mailles carrées des tamis (mm)	
Fine, fillers	<0.063	
Sable	Petits	0.080<D<0.310
	Moyens	0.310<D<1.250
	Gros	1.250<D<5.00
Gravillons	Petits	5.00<D<8.00
	Moyens	8.00<D<12.50
	Gros	12.50<D<25.00
Pierres cassées	Petits	25.00<D<40.00
	Moyens	40.00<D<63.00
	Gros	63.00<D<100.00

3.1. Gravier :

a. Définition :

On appelle gravier l'accumulation des grains de 5 à 70 mm provenant de la distraction naturelle des roches. Tandis que la pierre concasser par broyage des roches massives, de gravier pierre artificielle, en morceaux dont les démentions varient de : 5 à 70 mm [5]

b. Granularité de gravier:

La granularité conditionne la porosité de mélange, si tous les grains, ont une même grosseur, ont aurais une porosité maximale, donc pour avoir un mélange de volume des vides

minimum il faut une composition granulométrique des grains de différentes dimensions qui doit se situer dans les limites appelées (fuseaux de spécifications) [7]

Tableau (I-6): Refus cumulés sur tamis [7].

Tamis	Limite de refus cumulé(%)
D_{\min}	90-100
D_{\max}	0-10
$\frac{1}{2}(D_{\min}+D_{\max})$	40-70
$\frac{5}{4} D_{\max}$	0

c. Nature de gravier:

Le gravier provient de roches naturelles ou artificielles, constituées de minéraux chaque roches à sa propre composition chimique minéralogique. Sa résistance, son adhérence avec les ciments.

L'adhérence entre le gravier et la pâte de ciment influe sur la résistance de béton, l'état de la surface lisse. Les grains de gravier concassé (naturel et artificiel) ont des surfaces rugueuses, donc ces derniers s'adhèrent mieux que le gravier naturel au ciment durci dans le béton, en revanche le mélange du béton à base de gravier concassé naturels et artificiels et moins fluide en raison de l'angularité de ces derniers.[5].

d. Forme de gravier :

Les grains d'un gravier se distinguent par leurs formes : sphériques, cubiques allongées ...

Le coefficient volumique CV permet de donner une idée précise sur la forme de l'élément considéré. C'est pour un grain, le rapport entre le volume absolu ou volume de la sphère circonscrite à la plus grande dimension de grains.

Le coefficient volumique est donné par la relation :

$$v : \text{volume absolu de grain de gravier. } C_v^g = V / \left[\left(\frac{5}{6} \right) R^3 \right]$$

d : la plus grande dimension du grain de gravie

Un coefficient faible correspond à un granulat présentant un certain nombre de «plats» et «d'aiguilles» à l'opposé en coefficient élevé correspondants à un granulat dit «cubique» ou «arrondi»[5]

La norme AFNOR P18-301 préconise :

$C_v \geq 0.15$ pour les graviers de 12.5 à 25 mm

$C_v \geq 0.11$ pour les cailloux de 25 à 50 mm

La présence d'impuretés dans le gravier influe beaucoup sur la qualité de béton, car les impuretés perturbent l'hydratation de ciment et entraînent des défauts d'adhérence entre le gravier et la pâte de ciment. [2]

3.2. Sable :

a. Définition :

Le sable est une masse meuble de matières minérales inorganiques, finement granuleuses (0.08 à 5mm), habituellement composées de quartz (silice), et d'une petite proportion de mica, de feldspath, de magnétite et autres minéraux durs. C'est le résultat de l'érosion, dégradation et abrasion des roches par des processus chimiques et mécaniques. Quand les grains viennent de se former, ils sont habituellement anguleux et très pointus. Par la suite sous l'action du vent et de l'eau, ils s'usent, s'arrondissent et deviennent de plus en plus petits.

Le sable est un élément très important dans la constitution des bétons et c'est généralement par la médiocre qualité du sable que périssent les bétons. [5]

b. Classification de sable :

Suivant leurs grosseurs : en trois types

- | | |
|----------------|-----------------|
| a) sable fin | 0.08 à 0.315 mm |
| b) sable moyen | 0.315 à 2.00 mm |
| c) sable gros | 2.00 à 5.00 mm |

Suivant leur provenance :

- Sable de rivière : absence de grains fins.
- Sable de dunes : uniformité et prédominance de grains fins
- Sable de plaines ou d'alluvions : absence de gros grains.
- Sable résidus de concassage : prédominance de gros grains et présence de farines, ou fines ou fillers.
- Sable de mer

c. Rôle du sable dans le béton :

Dans le béton le sable occupe presque $\frac{1}{4}$ de son volume par conséquent la qualité du sable influant considérablement sur la qualité du béton.

Il remplit avec le ciment et l'eau tous les vides entre les grains de gravier décidant ainsi la structure compacte du béton, d'autre part de son coût de revient, puisqu'il est toujours moins cher que le ciment. [5]

d. Caractéristiques des sables à la fabrication du béton:

La propriété des sables se déterminer par différentes méthodes parmi elles la méthode de l'équivalent de sable {Es} l'emploi d'un sable souillé conduit à une baisse de la résistance et une augmentation de retrait dans le béton.

La dureté des grains et enfin un facteur important pour l'obtention d'un béton convenable.

Les sables siliceux sont les meilleurs, les sables calcaires au contraire sont rarement assez durs pour assurer au béton une bonne résistance.

Notons que les sables peuvent contenir une quantité d'eau importante jusqu'à 200 litres et plus par 1m^3 , pour cela lors de détermination de dosage en eau il faut tenir compte de cette teneur en eau du sable, ou bien il faut sécher le sable en utilisant l'étuve ou bien naturellement. [5]

4. Eau de gâchage :

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

du béton, cette eau est une grande importance, elle est soumise à certaines exigences est à même fait l'objet d'une norme (NF 18-303).

On conçoit donc, en premier lieu, que les impuretés nocives interdites pour les granulats ne doivent pas être apportées par l'eau de gâchage.

a. Caractéristiques physiques :

L'eau de gâchage des bétons doit être propre, ne pas contenir de matières en suspension au-delà de certaine valeurs permises

Les tolérances réglementaires sont les suivant :

- 2g/l pour les bétons type A et type B.
- 5g/l pour le béton type C.

Les matières en suspension n'ont pas la même nocivité.

- Béton type A : béton de haute qualité à résistance élevée.
- Béton type B : béton à faible perméabilité
- Béton type C : béton à faible résistance peut au non armé.

b. Caractéristiques chimiques :

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

- 15g/l pour les bétons type A et type B.
- 30g/l pour le béton type C.

L'eau de mer est admise pour le gâchage des bétons du type C, sauf certaines prescriptions spéciales

Toute eau douteuse doit être analysée chimiquement au laboratoire spécialisé. [5]

5. Les ajouts :

a. Définition :

Les ajouts cimentaires sont incorporés au clinker afin de produire un ciment mélangé ou incorporées au mélange de béton comme agent complémentaire. Les ajouts cimentaires sont des produits résiduaux d'autres industries destinés aux sites d'enfouissement. En

Algérie, la pouzzolane, le laitier de haut fourneau et la fumée de silice sont parmi les matières les plus couramment utilisées comme ajouts cimentaires.

b. La pouzzolane naturelle :

La pouzzolane utilisée est une pouzzolane naturelle, fournie par la cimenterie d'AIN ELKABIRA Sétif en quantité suffisante pour nos besoins d'élaboration sur le plan expérimental. Cette pouzzolane est fournie sous forme de roches concassées de type pierre ponce et scorie de diamètres variant de 5 à 10 mm. Pour pouvoir la substituer au ciment, nous avons d'abord procédé à son étuvage à 105 °C afin d'éliminer toute éventuelle humidité et faciliter son broyage. Nous l'avons ensuite complètement broyé puis passé au tamisage.

▪ composition chimique, minéralogique et physique de la pouzzolane

Les analyses des compositions chimiques et minéralogiques moyennes de la pouzzolane naturelle sont effectuées au laboratoire de génie civil.

Tableau (I-7): Caractéristiques physique de pouzzolane.

Caractéristiques physiques	Unité	Valeurs
masse volumique apparente	g/cm ³	0.98
masse volumique absolue	g/cm ³	2.75
surface spécifique Blaine	g/ cm ²	3560

6. Adjuvant:

On appelle adjuvant, tout ingrédient autre que le ciment, les granulats et l'eau que l'on ajoute au mélange. Ce sont le plus souvent des polymères de synthèse au poids moléculaire assez élevé (2000_3000).

Les adjuvants des bétons sont des produits chimique solubles dans l'eau qui modifier principalement :

Les solubilités, les vitesses de dissolution.

L'hydratation des divers constituants d'un liant hydraulique.

Pour la confection des éprouvettes de mortier avec un rapport E/C égal à 0.5, et un béton avec une affaissement 7cm on a utilisé deux adjuvant MEDAFUGE L pourcentage de 1,25% de poids de ciment ET MEDAACCEL T85 pourcentage de 0,6% de poids de ciment

(l'entreprise de GRANITEX) le tableaux suivant représenté les caractéristique des ces adjuvants :

Tableau (I-8): Caractéristiques et dosage des adjuvants (MDF, MDAC).

Adjuvant	Définition	caractéristique	Dosage
MEDAFUGE L	Hydrofuge de masse liquide destiné à la confection de béton et mortier étanche	aspect : liquide couleur : marron densité : 1,10(0,01) pH : 5,6 teneur en chlore : 0,1g/l	1 à 1,5 de poids de ciment (0,9L à 1,35L pour 100 Kg de ciment)
MEDAACCEL T 85	Agit sur le béton en activant la chaleur d'hydratation du ciment, amélioré ainsi le temps de début de prise	aspect : liquide couleur : transparent densité : 1,10(0,01) pH : 9,5 _ 10,5 teneur en chlore 0,1g/l	0,4 à 0,75 de poids de ciment (0,4 L à 0,75 L pour 100 Kg de ciment)

I.3. Propriétés principales du béton frais :

La caractéristique essentielle du béton frais est l'ouvrabilité, qui conditionne non seulement sa mise en place pour le remplissage parfait du coffrage et du ferrailage, mais également ses performances à l'état durci.

Il existe un très grand nombre d'appareils de mesure de l'ouvrabilité du béton reposant sur des principes différents. Certains mesurent une compacité, d'autres un temps d'écoulement ou encore utilisent l'énergie potentielle du béton ou nécessitent un apport d'énergie extérieur.

On comprend qu'il est difficile de convenir d'un tel appareil tenant compte de tous les bétons possibles pour tous les usages et qui tiennent compte aussi des différents facteurs de l'ouvrabilité. Certains appareils sont utilisés à la fois par les laboratoires et par les chantiers. La distinction proposée est donc parfois assez artificielle, sauf dans le cas d'appareillage très élaboré. [3]

a. L’ouvrabilité du béton frais.

Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. On n'en citera Affaissement au cône d'Abrams qu’est le plus couramment utilisé dans la pratique. [3]

- **Affaissement au cône d'Abrams :**

Cet essai (slump-test) est incontestablement un des plus simples et des plus fréquemment utilisés, car il est très facile à mettre en œuvre. Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être effectué directement sur chantier par un personnel non hautement qualifié mais ayant reçu simplement les instructions nécessaires au cours de quelques séances de démonstration. L'appareillage est complètement décrit dans la norme NF P 18-451 et est schématisé sur la figure. Il se compose de 4 éléments: un moule tronconique sans fond de 30 cm de haut, de 20 cm de diamètre en sa partie inférieure et de 10 cm de diamètre en sa partie supérieure; une plaque d'appui; une tige de piquage; un portique de mesure. [8]

Les mesures sont évidemment quelques peu dispersées et il ne faut pas accorder à cet essai un caractère trop rigoureux, mais on peut admettre qu'il caractérise bien la consistance d'un béton et permet le classement approximatif indiqué au tableau [3]

Tableau (I-9): Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône d'Abrams.

Classe de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide F1	≥ 16	

b. Résistance du béton frais :

La résistance du béton frais est faible, mais elle intéresse plus particulièrement les fabricants pour le démoulage immédiat (avant prise du ciment) d'éléments de grande série.

À la suite d'études faites sur ce sujet, il semble que:

- le rapport optimal E/C est voisin de 0,40 (béton plutôt sec),
- le pourcentage optimal $\frac{\text{Sable}}{\text{Granulat}}$ est d'environ 0,38 (soit : G/S = 2,6 valeur élevée),
- les granulats concassés donnent des résistances plus élevées que les granulats roulés,

- la fréquence de la vibration est prépondérante (résistance triplée quand on passe de 3000 à 6000 périodes par minute).

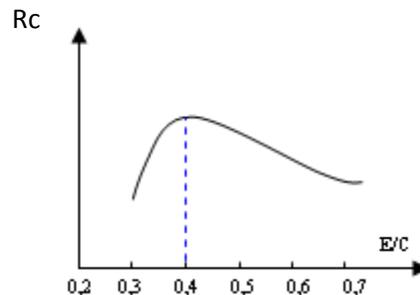


Figure (I-1): Résistance du béton frais [3].

La résistance en compression peut atteindre 0,3 à 0,4 MPa tandis que celle en traction ne dépasse guère 1/100^e de ces valeurs, soit 0,004 MPa. [3]

I.4. Caractéristiques principales du béton durci :

La déformation du béton :

La résistance mécanique et la déformation sont des caractéristiques importantes du béton, car elles jouent un grand rôle non pas seulement pour la stabilité, mais aussi la durabilité des ouvrages.

Lorsque le béton est soumis à l'action d'une charge rapidement croissante, il se comporte comme un matériau fragile. D'une part, sa rupture n'est pas précédée de déformations importantes et d'autre part, sa résistance à la traction est beaucoup plus faible que sa résistance à la compression. La résistance à la traction s'annule même complètement si des fissures de retrait se sont développées.

Le choix judicieux des matériaux, une mise en œuvre correcte, l'adoption de dispositions constructives appropriées jouent un rôle essentiel dans l'art de construire. Toutefois, comme une partie importante de ses activités est consacrée aux problèmes de dimensionnement des constructions, l'ingénieur attache une importance particulière aux caractéristiques de résistance mécanique et de déformation des matériaux, car leur connaissance lui est indispensable pour réaliser des constructions à la fois sûres et économiques.

Dès la fin de la mise en œuvre, le béton est soumis à des déformations, même en absence de charges. [3]

a. Le retrait de béton :**Introduction :**

La durabilité des ouvrages en béton armé ou précontraint est fortement dépendante de la qualité du béton, et en particulier de la zone d'enrobage. C'est en effet au travers de la porosité que peuvent migrer des agents agressifs (sulfates, chlorures, CO₂, etc.) susceptibles d'interagir avec les constituants du ciment et de provoquer l'apparition des désordres. Néanmoins, la compacité des bétons ne peut, à elle seule, être garante de la bonne tenue dans le temps. En effet, la manifestation de phénomènes de fissuration ouverte dans la zone d'enrobage peut augmenter les propriétés de transfert des bétons, aussi compacts soient-ils, et ainsi nuire leur durabilité. Dans cette optique, la maîtrise de la fissuration précoce des bétons, liés aux phénomènes de retrait, apparaît essentielle. [9]

Définition de retrait :

Le retrait correspond à des variations dimensionnelles mettant en jeu des phénomènes physiques avant, pendant ou après la prise des bétons. Lorsqu'elles ne sont pas maîtrisées par le ferrailage ou la présence de joints, ces variations dimensionnelles donnent lieu à l'apparition de fissurations précoces, d'ouverture conséquente. Les fissurations liées au retrait doivent être différenciées des phénomènes de fissuration fonctionnelle des ouvrages, ces derniers étant généralement maîtrisés par les règles de calcul, et restent compatibles avec la bonne tenue des ouvrages dans le temps, notamment en raison des faibles ouvertures des fissures. [9]

Les conséquences du retrait :

Dans tous les cas, la conséquence essentielle du retrait est l'apparition de phénomènes de fissuration pouvant diminuer la durabilité des structures en béton armé ou précontraint, et/ou limiter leur capacité portante, notamment dans le cas de manifestation dans la masse. Cette fissuration peut conduire à limiter l'adhérence entre un matériau rapporté en surface (revêtement par exemple) et le support en béton.

Les conséquences de la fissuration sur la durabilité des structures en béton sont dues à l'augmentation de la cinétique de pénétration des agents agressifs présents dans le milieu environnant, au travers des fissures ouvertes sur les parements.

L'impact que peut avoir une fissuration ouverte de surface sur un voile en béton armé affecté par un phénomène de retrait plastique. En dehors de la fissure, la profondeur de carbonatation, liée à la diffusion du CO₂ atmosphérique dans le béton, est limitée à quelques millimètres sur les deux faces, et aucun désordre n'est observé. En revanche, le phénomène de carbonatation est accéléré le long des fissures traversantes, entraînant ainsi la corrosion des armatures recoupées par les fissures. [9]

b. Mécanisme de la fissuration

Deux bétons ayant un même retrait final peuvent se comporter très différemment du point de vue de la fissuration

- Le béton correspondant à L ne se fissure pas.
- Le béton correspondant à L' se fissure en I au temps t.

Condition de fissuration d'un béton:

Le phénomène de retrait étire le béton de telle façon que l'allongement résultant compense le raccourcissement imposé par le retrait, si l'élément était libre de se déformer. Le retrait augmente avec le temps, la tension interne aussi: si elle dépasse la limite de rupture du béton, la fissuration se produit. [3]

c. La dilatation

Puisque le coefficient de dilatation thermique du béton est évalué à 1×10^{-5} pour une variation de $\pm 20^\circ\text{C}$ on obtient: $\Delta l = \pm 2\text{‰} \times \text{longueur}$.

Pour chaînage en B.A. de 20 m de longueur et un écart de température de 20°C , on a une dilatation de : $2 \text{‰} \times 2000 \text{ cm} = 0,4 \text{ cm}$. [3]

d. Le fluage

Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge de longue durée, le béton se comporte comme un matériau viscoélastique. La déformation instantanée qu'il subit au moment de l'application de la charge est suivie d'une déformation lente ou différée qui se stabilise après quelques années. C'est ce que l'on appelle le fluage (Fig. II.4).

Le fluage est pratiquement complet au bout de 3 ans.

Au bout d'un mois, les 40 % de la déformation de fluage sont effectués et au bout de six mois, les 80%. Estimation de la déformation de fluage:

$\Delta l = 4 \text{ à } 5 \text{‰} \text{ longueur}$.

Cette déformation varie surtout avec la contrainte moyenne permanente imposée au matériau.

e. Élasticité du béton

Le module d'élasticité E est défini par le rapport:

$$E = \frac{\text{contrainte unitaire}}{\text{déformation relative}}$$

Pour les projets courant, on admet:

$E_{ij} = 11\,000 R_{cj}^{1/3}$ (module de déformation longitudinale instantanée du béton) avec

R_{cj} = résistance caractéristique à « j » jours. $E_{vj} = 3\,700 R_{cj}^{1/3}$

(Module de déformation différée)

Il s'ensuit que

$$E_{vj} \approx \frac{1}{3} \text{ de } E_{ij}.$$

Notes : E_{ij} , E_{vj} , R_{c28} , R_{cj} sont exprimés en MPa.

Le module d'élasticité de l'acier est de l'ordre de : $200\,000 \text{ N/mm}^2$, soit $2\,000\,000 \text{ daN/cm}^2$.

. [3]

f. Effet «Poisson»

En compression comme en traction, la déformation longitudinale est aussi accompagnée d'une déformation transversale.

Le coefficient « Poisson » est le rapport :

$$\frac{\text{Déformation transversale}}{\text{Déformation longitudinale}} \quad \text{dont la valeur varie 0.15 et 0.30} \quad . [3]$$

II.1 Historique :

Les traces retrouvées dans les stations thermales remontent à l'époque romaine. En effet les romains accordaient une importance très particulière aux sources thermales, très souvent ils construisirent leurs sites autour de ces sources, comme c'est le cas pour les sites suivants : *Aquae Mauretaniae* (Hammam Righa) ; *Aquae Sirenses* (Hammam Bouhanifia) ; *Aquae Chibilita Nae* (Hammam Meskoutine).

Les sources thermales furent aussi bien exploitées par les arabes ,en effet très souvent des sources portent le nom d'un marabout qui a vécu dans la région comme hammam Bouhadjar qui doit son nom au marabout Sid Ahmed Bouhadjar qui a vécu dans la tribu des Ouled Bouhadjar avant la colonisation française et dont le mosolé est situé au Sud-Est de la ville de Hammam Bouhadjar.

Les Turcs aussi très amateurs des bains chauds construisirent dans les villes plusieurs bains avec des installations permettant le stockage de l'eau de source. Pendant l'époque coloniale les français construisirent des hôpitaux thermaux autour des sources pour soigner les blessés et convalescents. [10]

Aujourd'hui comme dans le passé les stations thermales sont très sollicitées par les algériens pour divers traitements d'ordre rhumatologique, dermatologique et psychiatrique.

II.2. Quelques définitions (définitions officielles et ambiguïté de certains termes) :

a .Eau thermale:

Il s'agit d'une eau dont la température est supérieure à la température moyenne des eaux de nappe de la région. En général, la température des eaux régionales est très proche de la température moyenne annuelle de l'air dans cette même région. La température des eaux du sol et du sous sol suivent les variations de la température de l'air avec un décalage temporel et un amortissement qui augmente avec la profondeur. Au delà de 1.50 m les variations temporelles sont assez faibles et rapidement en dessous de cette profondeur, la température peut être considérée comme constante (sauf cas particulier comme certains systèmes karstiques). Donc les eaux thermales sont des eaux dont la température est supérieure à cette valeur régionale. On distingue les eaux thermales de basse enthalpie (basse température) et les eaux thermales de haute enthalpie. [10]

b. Eau minérale:

Eau dont la composition chimique est recommandée pour une bonne santé. Ce caractère, qui peut paraître suggestif, est défini par l'Académie de Médecine à partir de sa composition chimique.

En effet, certaines eaux thermales, du fait de la température du réservoir, acquièrent des propriétés chimiques particulière, différentes des caractéristiques habituellement observées pour les eaux froides de surface. Du fait des températures qui peuvent être élevées dans le réservoir (200 ou 300°C), elles sont capables de dissoudre certains minéraux et s'enrichir en «oligo» éléments durant le long temps de contact, parfois plusieurs dizaines de milliers d'années, avec les roches du réservoir profond. Par ailleurs, le circuit des eaux thermales est généralement assez long. Aussi, les eaux thermales sont généralement exemptes de contaminants tels que les nitrates ou les produits xénobiotiques. A coté de ses définitions, d'autres termes peuvent apparaître comme «Eau thermo-minérale» ou d'autres dénominations qui ne sont pas reconnues. [10]

II.3 .Les sources thermales en Algérie :

Il existe sur le territoire algérien plus de 200 sources thermales d'après les études réalisées à ce sujet, ce nombre croit régulièrement quand on se déplace vers l'Est. Les températures mesurées à l'émergence varient de 19°C à Ben Haroune à 98 °C à Hammam Meskoutine.

La minéralisation des eaux est déterminée surtout par la nature chimique et minéralogique des sédiments qu'elles traversent. Les sources thermales les plus minéralisées sont en relation directe avec les sédiments gypso-salins du Trias si répandu en Algérie [11], ce cas est rencontré à titre d'exemple à Hammam Melouane 29.42 gr/l, Hammam El Biban 15gr/l, Hammam Salhine 9 gr/l.

a. Les stations thermales médicalisées :

Parmi les nombreuses stations thermales qui existent en Algérie, huit seulement sont médicalisées, il s'agit des stations thermales : Hammam Bouhanifia (Mascara), Hammam Bouhadjar (Ain Temouchent), Hammam Boughrara (Tlemcen), Hammam Rabbi (Saida), Hammam Righa (AinDefla), Hammam Guergour (Setif), Hammam Salhine (Biskra), Hammam Meskoutine (Guelma). Ces stations thermales sont gérées par la Société Algérienne

de Thermalisme et sont conventionnées avec les différentes caisses de sécurité sociale (CNAS, Casnos, caisse militaire) [12].

Les établissements disposent de structures d'accueil et d'équipements adéquats ainsi qu'un encadrement médical et paramédical qualifié pour prodiguer des soins basés sur des méthodes scientifiques de la crénothérapie aux différents malades et curistes. Les autres stations thermales éparpillées à travers le territoire national enregistrent par contre un déficit dans les infrastructures d'accueil, elles sont surtout sollicitées par les curistes pour les bains thermaux traditionnels.

- **Hamam Boughrara :**

Hamam Boughrara (Figure. II.1) est situé à 282 mètre d'altitude à l'extrême Ouest du pays, sur les bords de l'Oued Tafna à proximité de la ville frontalière de Maghnia. Dans une zone essentiellement agricole avec un centre commercial et des équipements de loisir et de soins.

La station thermale de hamam Boughrara est mise en exploitation en 1974, ses eaux sulfatées et bicarbonatées sodiques, émergent à une température de 45°C.

Les indications thérapeutiques sont d'ordre rhumatologique, dermatologique, gynécologique et respiratoire. Les techniques thermales consistent en des bains simples, bains carbo-gazeux, bains locaux, douches au jet, auxquelles s'ajoutent des soins complémentaires : thermothérapie (infrarouges et applications de paraffine), électrothérapie, massage à sec. [10]



Figure (II.1): Hamam Boughrara (Tlemcen)

- **Hamam Bouhadjar :**

Hamam Bouhadjar (Figure.II.2) est situé 21 Km de la ville d'Aïn Témouchent, s'élève sur une altitude de 150 mètres et s'étend au milieu des vignobles et d'oliviers sur une superficie de 603 240 m².

La station thermale est mise en exploitation en 1974, on y dénombre une quarantaine de sources en majorité chaudes, entre 35 et 72°C. Les eaux chaudes et sulfureuses jaillissent des entrailles de la roche appelées «Dracones». Les indications thérapeutiques principales sont les rhumatismes et les séquelles de traumatismes ostéoarticulaires qui regroupent 85% des curistes. Qualité de ses eaux : Eaux Chlorurées Sodiques (70 ° C). [10]



Figure (II.2): Hammam Bouhadjar (Ain Temouchent)

- **Hammam Bouhanifia :**

Géographiquement, hammam Bouhanifia (Figure II.3) est situé à 25 Km au Sud-ouest de Mascara, il s'étale dans un paysage sauvage dans le Tell oranais sur les bords de l'Oued El Hammam. La station thermale qui n'est qu'à 230 mètres d'altitude est entourée de montagnes culminant à 800 mètres. Grande station thermale, Bouhanifia est aménagée dans un îlot de verdure et de fraîcheur, le climat est sec et l'atmosphère saturée des émanations gazeuses des sources qui l'entourent. Les eaux thermales jaillissent à des températures entre 20 et 70°C. Reconnues d'utilité publique, les eaux de hammam Bouhanifia sont répertoriées par les spécialistes comme étant des eaux hyperthermales, thermales, chloro-sulfatées ayant un débit de 23 l/s. Bien que chaudes, les eaux de Bouhanifia sont agréables à déguster d'autant plus qu'elles tiennent en dissolution une grande quantité de gaz carbonique qui les rend éminemment digestibles. Les principales maladies traitées sont le rhumatisme dégénératif (arthrose), le rhumatisme inflammatoire chronique, les séquelles de traumatisme et tous les autres cas liés aux problèmes de la sphère (ORL). [10]



Figure (II.3): Hammam Bouhanifia

- **Hammam Rabbi :**

La station thermale de hammam Rabbi (Figure II.4) est située à 20 Km de la ville de Saïda sur l'axe Saida – Oran, logé dans un site d'une beauté saisissante, la station thermale de Hammam Rabbi est mise en exploitation en 1970, son eau a des origines profondes et arrive en surface sous pression à une température moyenne de 40°C et un débit moyen de 8 l/s.

Les eaux thermale de hammam Rabbi traitent les affectations en : Dermatologie, douleurs rhumatismales aiguës, articulaires, fièvres anémiques, affections cutanées et respiratoires. [10]



Figure (II. 4): Hammam Rabbi (Saïda).

- **Hammam Righa :**

Hammam Righa (Figure II.5) est situé à 100 Km au Sud-Ouest d'Alger dans la wilaya d'Ain Defla à une altitude de 525 mètres. Il se trouve dans une région verdoyante et boisée appréciée pour ses qualités climatiques.

Les installations sanitaires et les équipements de loisir font de lui un lieu de bien être privilégié pour les curistes. En 1934, la station comprenait un hôpital militaire et plusieurs établissements environnants. L'hôpital est alimenté par neuf sources dont le débit total est de 15 l/s. Les eaux sont sulfatées calciques hyperthermales (54 °C). Les techniques de cure sont

classiques : balnéation générale et locale, douches au jet et affusions, massages sous l'eau, mésothérapie à sec, électrothérapie, rééducation et enveloppements de paraffine. [10]



Figure (II. 5): Hammam Righa (AinDefla)

- **Hammam Guergour :**

La station thermale de hammam Guergour (Figure. II.6) est située à 60 Km au Nord-Ouest de Setif à la sortie des gorges traversées par l'Oued Boussellem , dominée notamment par le Djebel Kraim el-Rar et le Djebel Tafat culminant à plus de 700 mètres d'altitude.

Les études physico-chimiques faites à diverses reprises ont toutes conclu à la radioactivité des eaux thermales et minérales, elles sont classées au 1er rang en Algérie et au 3ème rang mondial après les bains de Brembach (Allemagne) et les bains de Jachimov (Tchécoslovaquie), son taux de radioactivité est de 122 millimicrocuries/l. Elles se placent de par leur composition chimique dans le groupe des eaux sulfatées-calciques et chlorurée sodiques dont les eaux sont hyperthermales à une température avoisinant les quarante quatre degrés. Dans le cadre du développement du tourisme thermal en Algérie, le gouvernement décida la construction d'un complexe thermal au milieu des années soixante dix au niveau d'un ancien site romain qui surplombe le village de Hammam Guergour sur une superficie de 14 hectares, Il fut inauguré le 20 juin 1987. [10]



Figure(II.6) : Hammam Guergour (Sétif)

Aujourd'hui la station thermale de hammam Guerguour accueille des curistes pendant toute l'année pour des soins rhumatologiques et neurologiques, elle ne cesse de prendre de l'ampleur et de l'estime auprès de toutes les personnes qui s'y rendent.

- **Hammam Meskoutine :**

Hammam Meskoutine (Figure. II.7) est situé à l'Est Constantinois, à 110 Km de Constantine et 20 Km de Guelma, son site qui se trouve à 320 mètres d'altitude est particulièrement surprenant au sein de collines et montagne boisées, a proximité de cascades solidifiées a l'aspect lunaire. La source de hammam Meskoutine est la plus florissante de l'Algérie et ses eaux sont les plus chaudes. Il existe neuf sources hyperthermales dont la température de l'eau varie entre 90 et 98°C, le débit total des sources actuelles n'est pas inférieur à 55 l/s.

Les eaux sont d'une nature saline, avec une odeur sulfureuse, leurs faciès chimique est bicarbonaté calciques, chloruré sodique, radioactives, avec dégagement d'hydrogène sulfuré. Les indications sont prioritairement rhumatologiques mais aussi respiratoires (ORL et bronches). [10]



Figure(II.7) : Hammam Meskoutine (Guelma)

- **Hammam Salhine :**

Hammam Salhine (FigureII.8) est situé dans la commune d'El Hamma, à 8 Km de Biskra et à 140 mètres d'altitude, cette localité se caractérise par un climat sec. Situé dans une région forestière au climat particulier, Hammam Salhine est fréquenté par de nombreux curistes, il enregistre jusqu'à 700 000 visiteurs par an. Il a été aménagé le 20 Septembre 1988 sur la base de l'ancienne source. La température des eaux avoisine 70 °C, elles sont sulfurées et chlorurées sodiques avec un débit de 65 l/s. leur composition chimique leur confère des thérapeutiques indiquées pour les maladies rhumatismales, respiratoires et dermatologiques. [10]

II .4. Etude cas de HAMMAM EL BIBANE :

II.4.1. Reconnaissance de site :

a. Situation :

Le terrain retenu pour la réalisation du projet est situé à Hammam El Bibane, à l'est du complexe thermal.

Le terrain est délimité comme suit :

- **Au nord** : par un oued
- **Au sud** : par le chemin menant de la RN5 vers le complexe thermal
- **A l'est** : par l'ancien Hammam en ruine
- **A l'ouest** : par un terrain vierge.

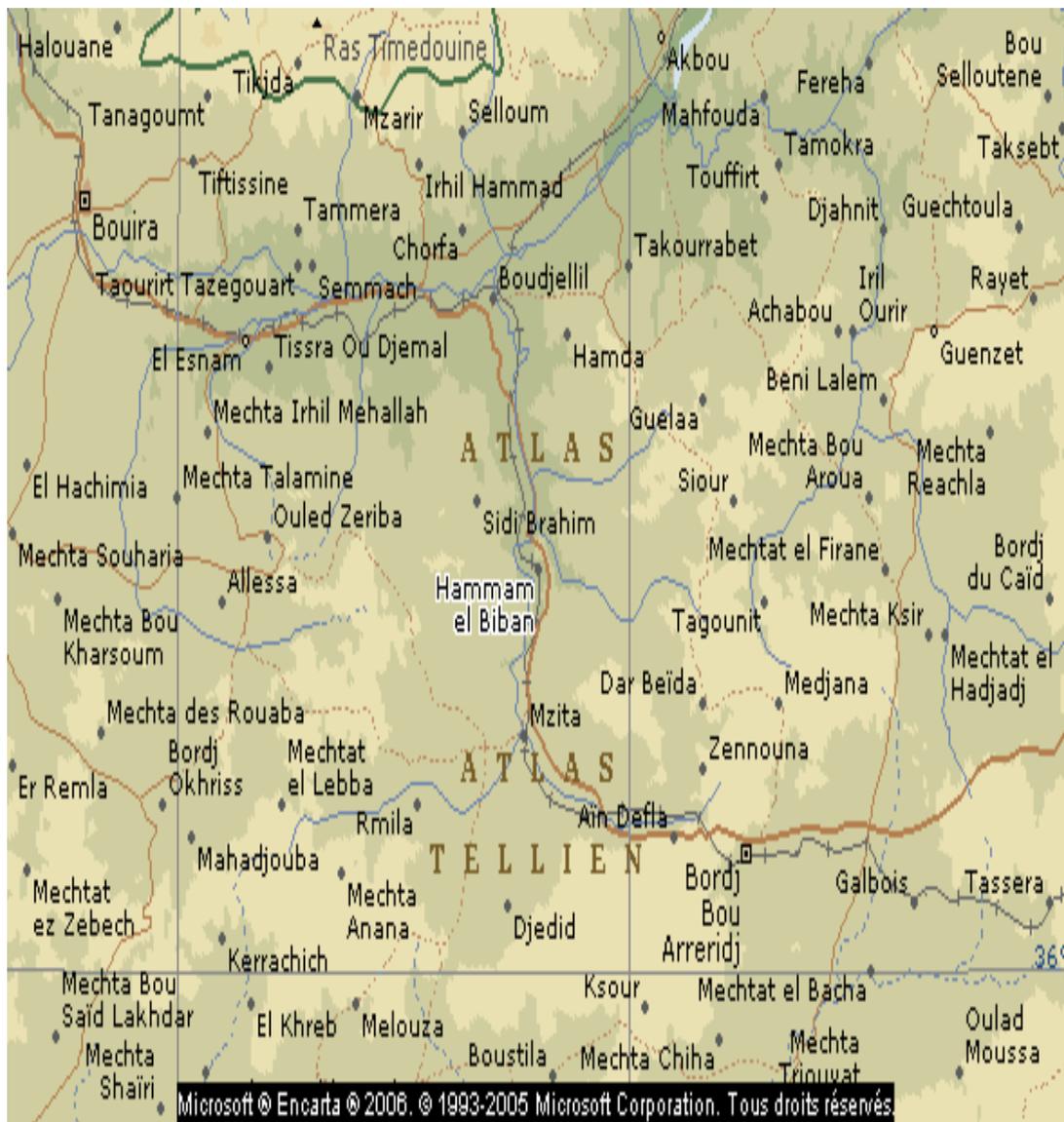


Figure (II .8) : carte géographique représenté la situation de HAMMAM EL BIBANE

- Topographie :

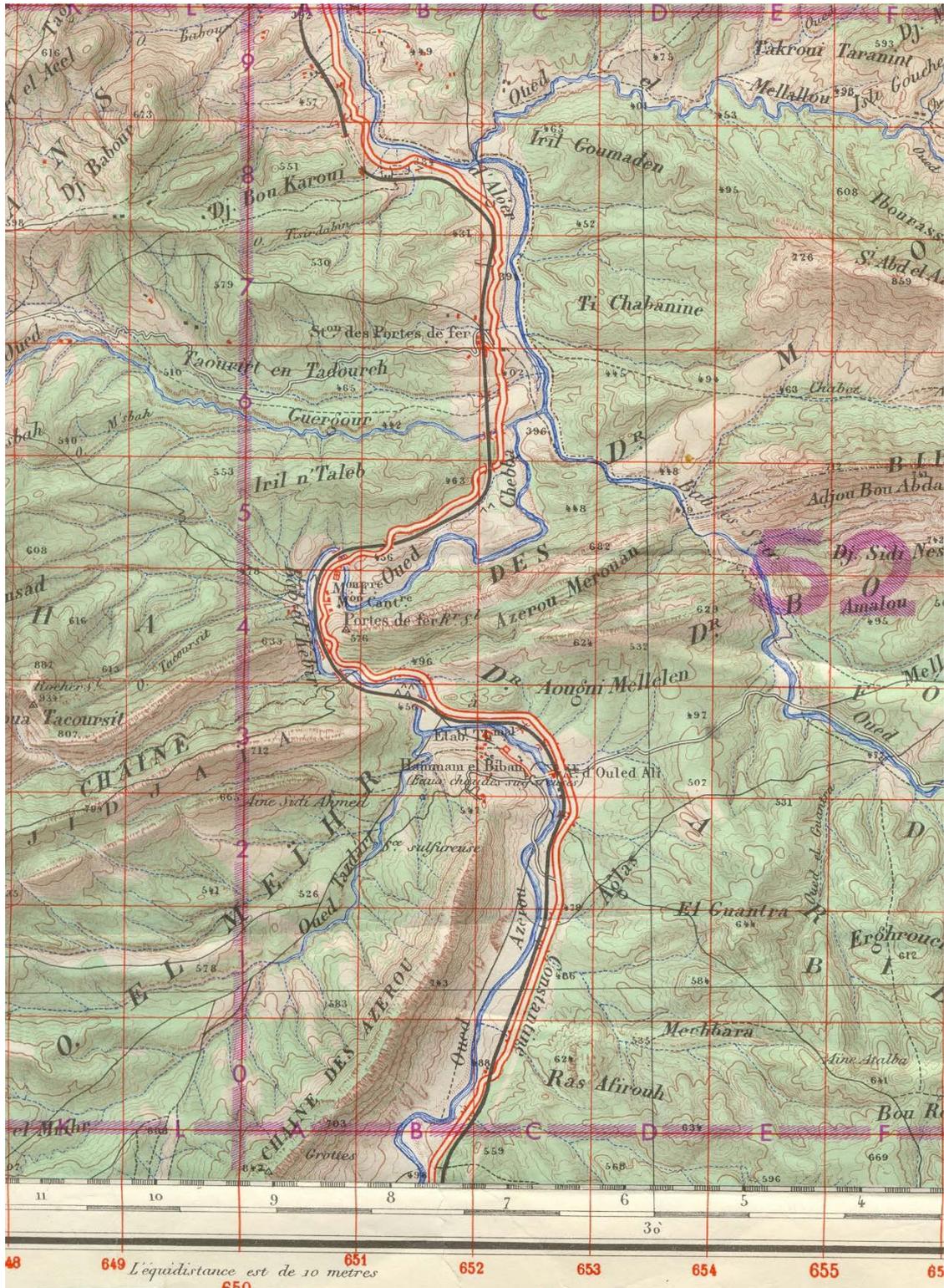


Figure (II .9) : carte topographique représenté la situation de station thermale

II.4.2. RECONNAISSANCE DU SOL :**1. Essais sur le terrain :****a. Programme des essais in-situ suivant les essais de L.T.P.O :**

Exécutés avec une pelle mécanique « poclain » jusqu'à une profondeur totale de 1.00m environ, ces puits ont permis d'identifier du moins visuellement la succession des couches de sol rencontrées et d'y prélever six échantillons à différents horizons. Pour mieux visualiser la physionomie du terrain en profondeur, une coupe lithologique a été établie :

b. Puits de reconnaissance :

Les formations rencontrées de haut en bas sont :

❖ Puits K1:

0.00-----0.40m : terre végétale.

0.40-----0.70m : argile consistante brune.

0.70-----1.00m : argile sableuse blanchâtre.

1.00-----1.20 m: tuf thermal beige compact.

❖ Puits K2:

0.00-----0.10m : terre végétale.

0.10-----0.70m : argile sableuse consistante rougeâtre.

0.70-----1.20 m: tuf thermal beige compact dur.

❖ Puits K3:

0.00-----0.10m : terre végétale.

0.10-----0.40m : argile sableuse consistante rougeâtre.

0.40-----1.00 m: tuf thermal beige compact, avec présence d'eau.

❖ **Puits K4:**

0.00-----0.30m : terre végétale.

0.30-----0.50m: tuf thermal compact raiderougeâtre.

0.50-----1.00 m: tuf thermal compact dur verdatre.

❖ **Puits K5:**

0.00-----0.20m : argile sableuse consistante brune.

0.20-----0.80m: tuf thermal beige compact dur.

❖ **Puits K6:**

0.00-----0.10m : terre végétale.

0.10-----0.40m : argile consistante brune.

0.40-----1.00 m: tuf thermal beige compact dur.

c. Pénétrömètre dynamique suivant les essais de L.T.P.O :

Cinq essais au pénétrömètre dynamique ont été réalisés avec des refus obtenus entre 0.80 et 1.20 m de profondeur.

De l'examen des diagrammes pénétrométriques, on a déduit la conclusion suivante :

La résistance de pointe « Rp » prend des valeurs importantes à partir de **1.00 m** de profondeur, la résistance minimale dépasse **30Mpa**

2. ESSAIS AU LABORATOIRE

Vu l'état et la nature des échantillons prélevés, seules les analyses chimiques ont été programmées pour déterminer l'agressivité du sol à l'égard du béton.

a. Résultats des analyses chimiques du sol :

Tableau (II.1) : Analyse chimique de sol.

DESIGNATION DES ECHANTILLONS	TENEUR EN % PAR RAPPORT AU MAT.SEC				TENEUR EN ANIONS DE SULFATE SO ⁴⁻ mg/kg
	INSOLUBLE (%)	CARBONATES (%)	CHLORURES NaCl (%)	GYPSES Ca SO ₄ 2H ₂ O (%)	
K1 (0.80 m)	29.21	63.28	-	1.00	5578
K2 (1.00 m)	23.97	68.75	-	0.65	3626
K3 (0.80 m)	15.70	78.12	-	0.72	4016
K4 (1.00 m)	18.61	78.12	-	1.17	6526
K5 (0.60 m)	21.68	68.75	-	1.33	7418
K6 (1.00 m)	22.07	70.31	-	1.22	6805

b. SPECIFICATIONS

CIRCULAIRE MINISTERIELLE : N° 83/04 DU 04/12/83

Tableau (II.2) : Classe d'agressivité selon la quantité de SO₄ dans le sol:

So ₄ ²⁻	<2000 mg/kg	Agressivité. nulle	
So ₄ ²⁻	2000 à 6000mg/kg	Agressivité. faible	
So ₄ ²⁻	6000 à 12000mg/kg	Agressivité. modérée	X
So ₄ ²⁻	>12000 mg/kg	Agressivité forte	

II.4.3. RECONNAISSANCE DE L'EAU :

a. Les résultats des analyses physico-chimiques de l'eau thermique (station thermal EL BIBANE) :

Tableau (II. 3) : Résultats des analyses physico-chimiques de l'eau thermique.

Analyse Examen	Analyse physique	Analyse chimique	
		Anions dominants	Cations dominants
Exam n°1	<ul style="list-style-type: none"> - Résistivité électrique / conductivité : 4.6 - pH (potentiel hydrogène) : 7.7 - Résidu sec : 2894 mg/l - Dureté totale: 32.8°F - Température: 80°C 	<ul style="list-style-type: none"> - Bicarbonates (CO_3H^-) : 262 mg/l - Chlorures (Cl): 1250 mg/l - Sulfates (SO_4^-): 500 mg/l - Nitrites (NO_2^-): 0.018 mg/l - Nitrates (NO_3^-): 00 mg/l - Fluorures (F): 00 mg/l 	<ul style="list-style-type: none"> - Calcium (Ca^{++}): 203 mg/l - Magnesium (Mg^{++}): 172 mg/l - Potassium (K^+): 100 mg/l - Sodium (Na^+): 500 mg/l - Fer (Fe^+): 00 mg/l
Exam n°2	<ul style="list-style-type: none"> - Résistivité électrique / conductivité : 255 - pH (potentiel hydrogène): 7.8 - Résidu sec 180°: 16108 mg/l - Dureté totale : 32.8°F - Température: 80°C 	<ul style="list-style-type: none"> - Bicarbonates (CO_3H^-) : 250 mg/l - Chlorures (Cl): 8300 mg/l - Sulfates (SO_4^-): 1000 mg/l - Nitrites (NO_2^-): 0.032 mg/l - Nitrates (NO_3^-): 00 mg/l - Fluorures (F): 00 mg/l 	<ul style="list-style-type: none"> - Calcium (Ca^{++}): 408 mg/l - Magnesium (Mg^{++}):155 mg/l - Potassium (K^+): 13 mg/l - Sodium (Na^+): 5000 mg/l - Fer (Fe^+): 00 mg/l

Remarque :

Les analyses on révélé que l'eau thermal de la station El BIBANE ne contient pas des bactéries ce qu'il la rend **une eau bacteriologiquement potable.**

II.4.4. Quelques images représentant les effets de l'agressivité du sol et de l'eau sur les conduites et les constructions :

a. Les conduites :



Figure(II.10) : Dégradation sur les conduites en amiante



Figure (II.11) : Dégradation sur les conduites en PVC

b. Les constructions



Figure (II.12) : Dégradation sur dalles pleines et les tampons

c. Les revêtements :



Figure (II.13) : Dégradation des murs extérieurs (peinture)

III.1. Introduction :

Nous présentons dans ce chapitre les caractéristiques des matériaux et matériels utilisés pour la confection du béton, ainsi que les essais exécutés au laboratoire de génie civil de l'université de BORDJ BOU ARRERIDJ.

III .2 : Caractérisation du sable de dune (BOUSSAADA)**1 : La masse volumique apparente à l'état lâche : EN 1097****a. Masse volumique à l'état lâche :**

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 1 l.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec
- On pèse le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.
- On nivelle la surface du sable et on pèse le tout soit M_2 ce poids.

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

M_1 : Masse du récipient vide

M_2 : Masse du récipient plus le sable

V_r : Volume du récipient ($V_r = 1L$.)

Tableau (III.1) : Masse volumique apparente de sable à l'état lâche.

Essai	Volume de récipient (l)	poids de récipient (g)	Poids du récipient+sable (g)	γ (kg/l)	γ_{moy} (kg/l)
1	1	63	1717	1.654	1.647
2			1708	1.645	
3			1705	1.642	

b. La masse volumique apparente a l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après remplissage du récipient et le compacter par tassement à 30 secousses manuelles, jusqu'au remplissage du récipient après on nivelle ce dernier et on le pèse, soit M_2 la masse de l'ensemble (sable +récipient) M_1 la masse de le récipient.

La masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivante :

$$\rho_c = (M_2 - M_1) / V_r$$

M_1 : Masse du récipient vide

M_2 : Masse du récipient plus le sable

V_r : Volume du récipient ($V_r = 1L$).

Tableau (III.2) : Masse volumique apparente de sable à l'état compact

Essai	Volume de récipient (l)	poids de récipient (g)	Poids du récipient+sable (g)	γ (kg/l)	γ_{moy} (kg/l)
1	1	63	1670	1.60	1.61
2			1660	1.597	
3			1700	1.637	

2. La masse volumique absolue : EN 1097

Il s'agit de connaître le poids de l'unité de volume du matériau étudié supposé compact. La mesure peut s'effectuer par déplacement de liquide.

• Mode opératoire

La masse volumique absolue du sable est déterminée à l'aide d'un récipient de 1000 cm³ on prend 3 échantillons de masse 300g.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité 1000ml et on y verse 400ml d'eau, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable-eau (V).

Donc le volume occupé par le sable seul c'est :

$$\text{Volume de sable} = V_1 = V - V_e \quad V_e = 400 \text{ cm}^3$$

La masse volumique absolue du sable est calculée par la formule :

$$\rho_s = M / V_1 \quad M = 300 \text{ g}$$

Tableau (III.3) : Masse volumique absolue de sable :

Essai	Masse de sable M_s (g)	Volume d'eau V_w (ml)	Volume total V_t (ml)	$V_t - V_e$	ρ (g/ml)	ρ_{moy} (g/lm)
1	300	400	490	90	3.33	2.84
2			515	115	2.60	
3			515	115	2.60	

3. La porosité : NF P18-554

C'est le volume des vides entre les grains du sable, la porosité peut être déterminée par la formule :

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) / 100$$

$$P (\%) = [1 - (\gamma / \rho)] \times 100.$$

On distingue deux cas :

- À l'état lâche :

$$P_L = [1 - (\rho_{app} / \rho_{abs})] \cdot 100\%$$

$$P_L = [1 - (1.647 / 2.84)] \cdot 100\% = 42 \%$$

- À l'état compact:

$$P_C = [1 - (\rho_{app} / \rho_{abs})] \cdot 100\%$$

4. La compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

- Mode opératoire

Peser un échantillon de sable ($M_s = 150\text{g}$)

Verser à l'aide d'un entonnoir dans une éprouvette graduée au niveau V_1

Verser un volume d'eau $V_2 = 150 \text{ cm}^3$ sur le sable, obtient alors un volume total V_3 .

La compacité du sable est donnée par le rapport

$$C = (V_3 - V_2) / V_1$$

Ou :

V_1 : volume du sable en ml

V_2 : volume d'eau = 150ml

V_3 : volume (sable + eau) en ml

- À l'état lâche :

$$C_L = 1 - P_L$$

$$C_L = 1 - 0.42 = 0.58 = 58 \%$$

- À l'état compact:

$$C_c = 1 - P_c$$

5. L'indice de vide :

- À l'état lâche :

$$E_L = (P_L / C_L) = 42 / 58 = 0.724$$

- À l'état compact:

$$E_c = (P_c / C_c)$$

Tableau (III.4) : La porosité, La compacité et L'indice de vide

Porosité (P)		Compacité(C)		Indice de vide (e)	
Lâche	compact	Lâche	Compact	Lâche	compact
42	43,3	58	56,7	0.724	0,763

6. Degré d'absorption : EN 1097

C'est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau. Elle est définie par la formule :

$$A = [(m_1 - m_2) / m_2] \cdot 100$$

M_h : la masse du matériau saturé d'eau en g

M_s : la masse du matériau sec en g .

Tableau (III.5) : Degré d'absorption

N° d'essai	m_h (g)	m_s (g)	A (%)	A (%)moy
1	300	265	12.82	13.07
2	300	267	12.35	
3	300	263	14.06	

7. Equivalent de sable : EN 933-8

Selon la norme NF-18-598 qui décrit de manière détaillée le mode opératoire concernant cet essai.

Cet essai nous permet de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité des bétons et provoquent des gonflements et des retraites.

Mode opératoire :

- tamiser une quantité de sable (masse supérieure à 500g).
- prendre une pesée de 120g.
- Remplir l'éprouvette de solution lavante jusqu'au premier repère.
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser les bulles d'air
- laisser reposer pendant 10 minutes.
- fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de course horizontale en 30 secondes à l'aide d'un agitateur mécanique.
- retirer le bouchon, le rincer avec la solution lavante au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de cette dernière.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage, cette opération a pour but de laver le sable et de faire montrer les éléments fins et argileux.
- Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution lavante atteigne le 2^{ème} repère, laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

a. Equivalent de sable visuel (E.S.V) :

- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règle.
- Mesurer également avec la règle la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = (h_2 / h_1) \times 100 (\%)$$

On a $h_2 < h_1$

h_1 : La hauteur du sable

b. Equivalent de sable piston :

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment, cet instant bloquer le manchon du piston, et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire la règle dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston, soit h_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée

$$E.S.P = (h_2 / h_1) \times 100(\%)$$

h_1 : La hauteur du sable +floculat

h_2 : La hauteur du sable ($h_2 < h_1$).

Tableau (III.5) : Equivalent de sable.

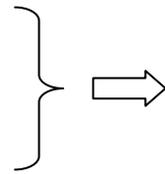
N° d'essais	h_1 [cm]	h_2 [cm]	E.S.V [%]	h_2' [cm]	E.S.P [%]
1	12.3	9.7	78.86	9.2	74.79
2	12.4	9.8	79.03	9.3	75
3	12.5	9.9	79.2	9.4	75.2

$(E.S.V)_{moy} = 79.03 \%$

$(E.S.P)_{moy} = 74.99 \%$

$75\% < E.S.V < 80\%$

$70\% < E.S.P < 80\%$



C'est un sable propre à faible

Pourcentage de fines argileuses

8. Analyse granulométrique du sable (M= 2 kg) :NF18-304

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéreux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon, la distribution en poids des particules d'un granulat suivant leurs dimensions permet de déterminer ses continuités.

Mode Opératoire :

- prélever une masse de 1.5kg de matériau (Sable sec).
- peser chaque tamis à vide, soit m_i la masse du tamis.
- constituer une colonne de tamis propres et sec dont l'ouverture des mailles de haut en bas (exprimée en mm) [5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.125, 0.08]
- verser le sable sur la colonne de tamis et celle-ci est vibrée à l'aide de la tamiseuse électrique pendant 5 minutes.
- peser chacun des tamis.

- On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de vibration de la tamiseuse.
- A la fin de tamisage peser les refus en matière retenue par chaque tamis a 1g. Soit M_i = la masse de tamis (i) + le sable
- Calculer la différence entre M_i et m_i (tamis de plus grandes mailles correspond au refus partiel R_1 de tamis 1).
- Reprendre la même opération avec le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le second tamis a R_1 , soit R_2 la masse de refus m du tamis 2 ($R_2 = R_1$ +refus partiel sur tamis 2)
- Poursuivre la même opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses de différentes refus cumulés R_3, R_4, \dots, R_n le tamisât est calculé par la relation : $T = 100 - R_c$
 R_c : refus cumulé en %, T : tamisât en %

Les résultats sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau(III.6) : Analyse granulométrique du sable

Type de Sable	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumule (g)	Refus cumule (%)	Tamisât (%)
0/5	5	45	45	2.25	97.75
		54	54	2.7	97.3
		56	56	2.8	97.2
	2.5	172	217	10.85	89.15
		171	225	11.25	88.75
		166	222	11.1	88.9
	1.25	90	307	15.35	84.65
		82	307	15.35	84.65
		85	307	15.35	84.65
	0.63	99	406	20.3	79.7
		90	397	19.85	80.15
		94	401	20.05	79.95
	0.315	694	1100	55	45
		688	1085	54.25	45.75
		753	1154	57.7	42.3
	0.16	758	1858	92.9	7.1
		797	1882	94.1	5.9
		747	1901	95.05	4.95
	0.08	131	1989	99.45	0.55
		108	1990	99.5	0.50
		99	2000	100	00
fond	10	1999	99.95	0.05	
	10	2000	100	00	
	00	2000	100	00	

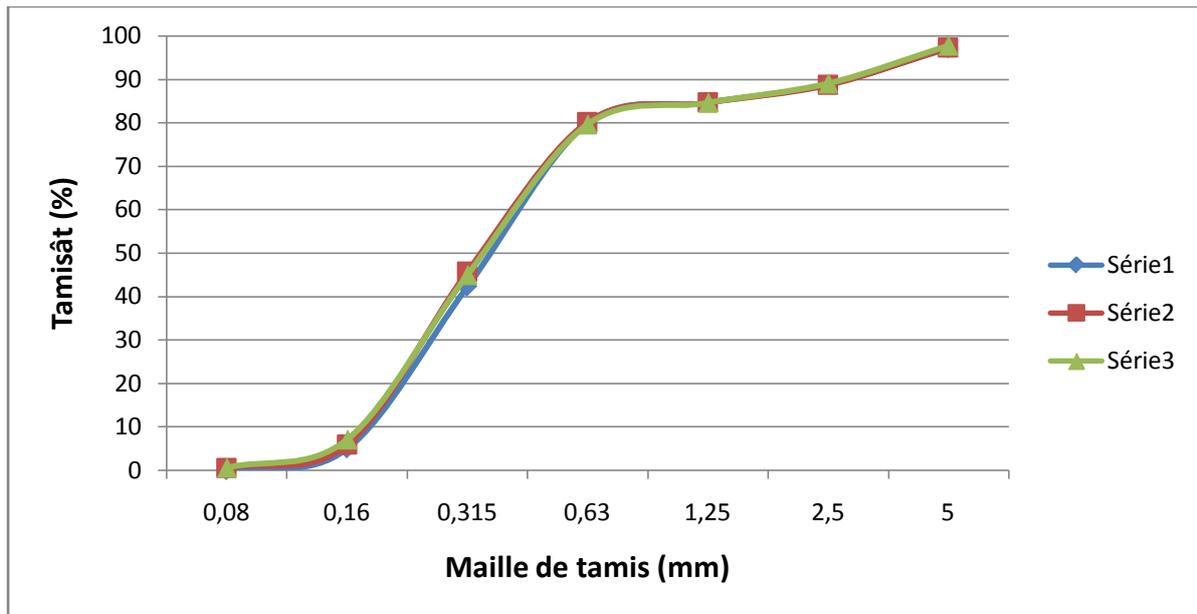


Figure (III.1) : Analyse granulométrique de sable

Module de finesse :

Correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés des tamis d'ouvertures (0.16, 0.315, 0.63, 1.25, 2.5, 5) (mm)

Il est donné par la relation suivante :

$$M_f = \frac{\sum R_c}{100} \quad R_c : \text{refus cumule}$$

$M_f = 2.9$ alors ce sable est un sable gros.

III.3. Caractérisation du gravier (3/8 et 8/15) concassé :



Figure(III.2) : Différents types de graviers

1. La masse volumique apparente : EN 1097

$$\gamma_{app} = (M2 - M1) / V$$

Tableau(III.7) : Masse volumique apparente de gravier

Fraction	volume de récipient (L)	Poids de récipient vide M1 (g)	Récipient plein M2 (g)	Σ M2 (moyenne)	γ_{app} (kg /l)
3/8	5L	841	7283	7286	1.28
			7291		
			7284		
8/15	5L	841	7401	7494.33	1.33
			7556		
			7526		

2. La masse volumique absolue de gravier : EN 1097

$$\rho_g = P_I * \rho' / (P_0 + P_I - P_2)$$

Tableau (III.8) : La masse volumique absolue de gravier.

Types d'agrégats (mm)	Poids des granulats P1 (g)	Volume de l'eau (ml)	Volume finale (ml)	ρ_g moyennes (kg/l)
3/8	300	400	515	2.60
			515	
			515	
8/15	300	400	512	2.66
			512	
			515	

3. La porosité: NF P18-554

$$P = [1 - (\gamma_g / \rho_g)]. 100\%$$

4. La compacité: NF P18-554

$$C = 1 - P$$

5. L'indice de vide : NF P18-554

$$e = P / C$$

Tableau (III.9): La porosité, La compacité et L'indice de vide

type d'agrégat (mm)	Porosité P(%)	Compacité C(%)	Indice de vide e
3/8	50.76	49.23	1.03
8/15	50	50	1

6. Degré d'absorption d'eau pour le gravier : EN 1097

$$A = [(m_h - m_s) / m_s] . 100$$

Tableau (III.10) : Degré d'absorption d'eau pour le gravier

Type de gravier	m_h (g)	m_s (g)	A (%)
3/8	300	297	1.04
8/15	300	298	0.69

7. Analyse granulométrique de gravier :

$$M_{(3/8)} = 1.6 \text{ kg}$$

$$M_{(8/15)} = 3.2 \text{ kg}$$

Tableau (III.11) : Analyse granulométrique de gravier (3/8 et 8/15).

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumule (g)	Refus cumule (%)	Tamisât (%)	
3/8	10	00	00	00	100	
		00	00	00	100	
		00	00	00	100	
	8	103	103	6.437	93.5625	
		114	114	7.125	92.875	
		133	133	8.312	91.687	
	6.3	645	748	46.75	53.25	
		712	826	51.625	48.375	
		681	814	50.875	49.125	
	5	507	1255	78.437	21.562	
		447	1273	79.562	20.437	
		466	1280	80	20	
	4	286	1541	96.312	3.687	
		265	1538	96.125	3.875	
		267	1547	96.687	3.312	
	3.15	55	1596	99.75	0.25	
		55	1593	99.562	0.43	
		49	1596	99.75	0.25	
	2.5	03	1599	99.937	0.062	
		03	1596	99.75	0.25	
		02	1598	99.875	0.125	
	Fond	01	1600	100	00	
		00	1596	99.75	0.25	
		00	1598	99.875	0.125	
	8/15	16	48	48	1.5	98.5
			53	53	1.65	98.35
			85	85	2.65	97.35
12.5		480	528	16.5	83.5	
		552	605	18.9	81.1	
		530	615	19.21	80.79	
10		907	1435	44.84	55.16	
		958	1563	48.84	51.16	
		956	1571	49.09	50.91	
8		1076	2511	78.46	21.54	
		1080	2643	82.59	17.41	
		1004	2575	80.46	19.54	
6.3		561	3072	96	04	
		461	3104	97	03	
		509	3084	96.37	3.63	
5		85	3157	98.65	1.35	
		72	3176	99.25	0.75	
		79	3164	98.87	1.13	
Fond		42	3199	99.96	0.04	
		25	3200	100	00	
		33	3194	99.81	0.19	

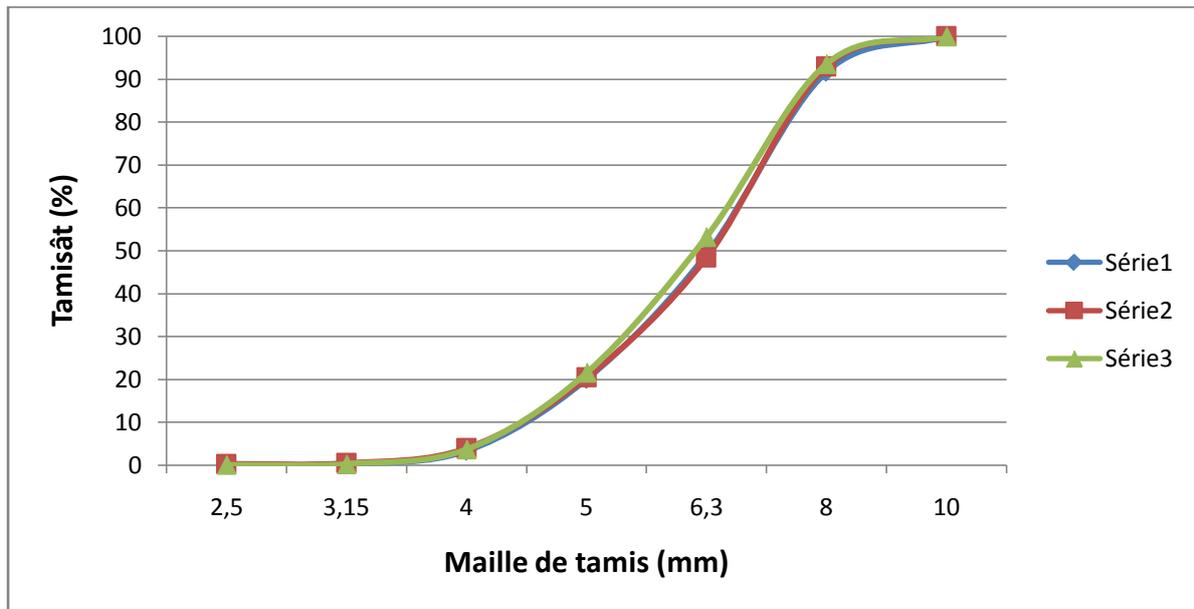


Figure (III.3) : Analyse granulométrique de gravier 3/8.

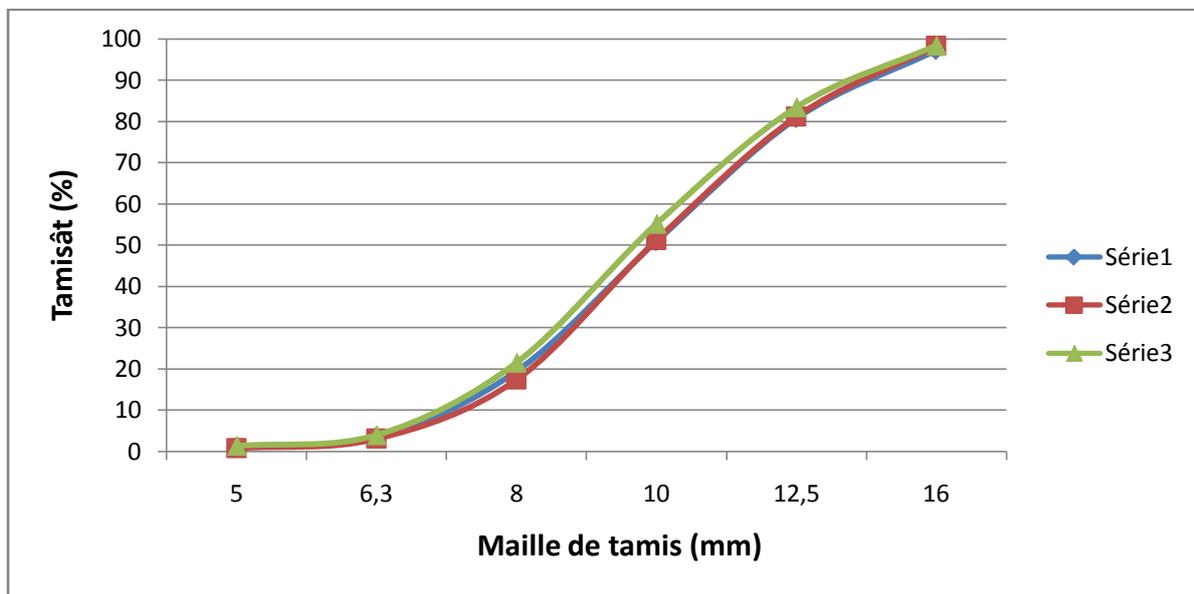


Figure (III.4) : Analyse granulométrique de gravier 8/15.

III.4. Eau de gâchage :

L'eau de gâchage et la quantité d'eau totale ajoutée au mélange sec de béton elle est nécessaire pour l'hydratation du liant, le mouillage des granulats et la facilité de mise en place du béton, cette eau est une grande importance, elle est soumise à certaines exigences est à même fait l'objet d'une norme (NF 18-303).

Dans notre travail on a utilisé l'eau de robinet de l'université de BOURDJ BOUAARIRIDJ comme eau de gâchage, le tableau suivant représente les caractéristiques chimiques de l'eau de gâchage :

Tableau (III.12) : Analyse chimique de l'eau de robinet.

Caractéristiques	Analyse chimique
Ph	8,18
conductivité	1250 $\mu\text{s/cm}$
Taux de (Cl)	0,24mg/l
Taux de (NO ₂)	0,15 mg / l
Taux de (NO ₃)	1,8 mg/l
Turbidité	1,44 NTU
Dureté	6,72 F°
Résidé sec	100 mg/l

III.5. Les adjuvants:

On appelle adjuvant, tout ingrédient autre que le ciment, les granulats et l'eau que l'on ajoute au mélange. Ce sont le plus souvent des polymères de synthèse au poids moléculaire assez élevé (2000_3000) ;

Les adjuvants des bétons sont des produits chimique solubles dans l'eau qui modifier principalement :

- Les solubilités, les vitesses de dissolution.
- L'hydratation des divers constituants d'un liant hydraulique.

Pour la confection des éprouvettes de mortier avec un rapport E/C égal à 0.6,et un béton avec une affaissement 7cm on a utilisé deux adjuvant MEDAFUGE L pourcentage de 1,25% de poids de ciment ET MEDAACCEL T85 pourcentage de 0,6%de poids de ciment (l'entreprise de granitex) le tableaux suivant représenté les caractéristique des ces adjuvants :

Tableaux (III.13) : Caractéristique des adjuvants (MDF, MDAC)

Adjuvant	Définition	caractéristique	Dosage
MEDAFUGE L	Hydrofuge de masse liquide destiné à la confection de béton et mortier étanche	<ul style="list-style-type: none"> • aspect : liquide • couleur : marron • densité : 1,10(0,01) • pH : 5,6 • teneur en chlore 0,1g/l 	1 à 1,5 de poids de ciment (0,9L à 1,35L pour 100 Kg de ciment)
MEDAACCEL T 85	Agit sur le béton en activant la chaleur d'hydratation du ciment, amélioré ainsi le temps de début de prise	<ul style="list-style-type: none"> • aspect : liquide • couleur : transparent • densité : 1,10(0,01) • pH : 9,5 _ 10,5 • teneur en chlore 0,1g/l 	0,4 à 0,75 de poids de ciment (0,4 L à 0,75 L pour 100 Kg de ciment)

Tableau (III.14) : Quantité des solides dans les adjuvants

adjuvant	Poids du récipient vide (g)	Poids du récipient+adj (g)	Poids après séchage (rec+adj) (g)	Poids des solides (g)
MEDAFUGEL	100	140	106	06
MEDAACCEL T85	100	130	101	01

III.6. L'ajout de pouzzolane :

La pouzzolane utilisée est une pouzzolane naturelle fournie par la cimenterie d'AINLEKBIRA SETIF en quantité suffisante pour nos besoins d'élaboration sur le plan expérimental. Cette pouzzolane est fournie sous forme de roches concassées de type pierre ponce et scorie de diamètres variant de 5 à 10 mm. Pour pouvoir la substituer au ciment, nous avons d'abord procédé à son étuvage à 105 °C afin d'éliminer toute éventuelle humidité et faciliter son broyage. Nous l'avons ensuite complètement broyé puis passé au tamisage.

Tableau (III.15) : Caractéristique physique de l'ajout pouzzolane

Caractéristiques physiques	Unité	Valeurs
masse volumique apparente	g/cm ³	0.98
masse volumique absolue	g/cm ³	2.75
surface spécifique Blaine	g/ cm ²	3560

III .7. Caractérisation du ciment (CRS MOUKAWIM)

Le ciment utilisé dans tous les essais est Ciment pour béton en milieux agressifs
CPJ – CEM II/B 42,5 – ES NA 443

MOKAOUEM est un ciment résistant aux sulfates, c'est le résultat de la mouture d'un clinker contenant un faible taux d'aluminates de calcium avec une proportion de laitier de haut fourneau et du gypse.

Avec son sac de couleur bleue, le Mokaouem est un ciment résistant aux sulfates. Il est destiné aux réalisations en milieu chimiquement agressifs, notamment humides (par exemple, pour la construction de fondations, de barrages ou de digues). Il permet la fabrication de bétons résistants aux eaux polluées, aux agressions chimiques naturelles, aux eaux de mer, canalisation, etc.

➤ **Domaine d'utilisation:**

MOKAOUEM est généralement utilisé pour les ouvrages en béton exposés à des conditions agressives sévères dues à l'attaque des sulfates de sol ou de l'eau souterraines tels que :

- Les fondations et Les structures à réaliser dans un milieu agressif
- Les travaux maritimes
- Les stations de dessalement et d'épuration
- Les travaux hydrauliques
- Les barrages et les digues de soutènement collinaire

1. Masse volumique apparente de ciment :

La densité apparente d'un matériau est le poids d'une unité » de volume de matériau pores comprises. Il s'exprime en g/l ou en Kg / m³

➤ Matériel Utilise:

- Dispositif Entonnoir ;
- Récipient –volume 1 Litre ;
- Réglette ;
- Balance.

➤ MODE OPERATOIRE :

- Tarer le récipient P1
- Remplir le récipient P1.posé de l'axe du dispositif entonnoir avec l'ajout de ciment (pouselat)
- faire l'opération son vibration .raser avec une réglette appuyée sur les bords de récipient
- nettoyer l'extérieur de récipient
- Peser de nouveau le récipient rempli P2

Soit la densité = $(P_2 - P_1) / V$ [q/l]

➤ Résultat d'essai :

Tableau (III.16) : Masse volumique apparente du ciment

Essais	Masse Volumique Apparente (g/cm ³)	Moyenne (g/cm ³)
01	0.982	0.927
02	0.895	
03	0.906	

2. Masse volumique absolue de ciment :

➤ Le but :

Détermination de Masse spécifique d'un ciment par le densimètre **LECHATelier**

➤ Définition :

La masse spécifique peut être un indice de la qualité du liant, en générale, sa valeur permet de déceler l'introduction des adjuvants ou des produit ou liants, la masse spécifique est la masse d'un liant par unité de volume de matière plein, examiné dans les conditions d'ambiance.

➤ MATERIEL NECESSAIRE :

- Un volumétre Le Chatelier
- Un liquide inerte vis-à-vis du ciment (alcool à brûler de préférence, à défaut eau).
- Une balance.
- Un entonnoir à long col.
- Une tige métallique.
- Une spatule.

➤ MODE OPERATOIRE :

- On pèse 64g du ciment
- On introduit cette quantité dans le densimètre **LECHATelier** déjà rempli en benzène.
- On introduit le densimètre dans un bain thermostatique à une température de (20±1°)
- Lorsque le niveau de benzène devient stable on note le volume déplacé V

On calcule la masse spécifique avec la formule suivante :

$$\rho_c = M/V \quad (\text{kg/l})$$

Ou m =masse de ciment dans le densimètre

Résultat d'essai :

Tableau (III.17) : Masse volumique absolue du ciment

Essai	Volume de récipient (ml)	volume d'eau reseté (ml)	Poids de ciment (g)	ρ kg/L	ρ_{moyenne} kg/L
1	0	22.9	64	2.79	2.80
2	0	22,7	64	2 ,82	
3	0	22,8	64	2,80	

3. La surface spécifique Blaine (SSB) norme NF-P 15 442 :

La SSB et la surface totale en cm^2 développée par 1g de liant, elle est mesurée conventionnellement selon la norme NF-P 15 442

➤ **Matériel Utilise:**

Un appareil appelé «Perméabilimètre de **Blaine**». Il se compose pour l'essentiel de :

- **Cellule** : dans laquelle est placé le ciment à tester
- Manomètre : constitué d'un tube en verre en forme de U rempli, jusqu'à son repère inférieur d'une huile légère ou mercure.
- **La cellule** est équipée d'une grille en sa partie inférieure.
- **une grille** : est plane et perforé de 30a40trous de 1mm de diamètre
- **Un piston** : sert à tasser le ciment dans la cellule sous un volume V défini.
- **Une balance** : précise à 0,001 g.
- **Un chronomètre** : précis à 0,2 s près.
- **Des rondelles de papier filtre** : adaptées au diamètre de la cellule.
- Du mercure pour mesurer le volume V de la couche tassée.
- Un thermomètre précis à 0,1 °C près pour mesurer la température de l'air.

➤ **MODE OPERATOIRE :**

- Placer grille + papier filtre + ciment (quantité calculée) + papier filtre.
- Tasser et ôter le piston.
- Vérifier le niveau du liquide : il doit arriver au trait inférieur (4);si nécessaire, parfaire ce
- Niveau.
- Placer la cellule sur l'ajutage. La jonction doit être étanche (très mince couche de vaseline).
- s'assurer de l'étanchéité de l'ensemble (boucher la cellule avec le pouce, aspirer avec la poire pour faire monter le liquide aux environs du trait supérieur (1), si on ferme le robinet, le niveau doit rester constant).
- L'étanchéité tant réalisée, aspirer le liquide jusqu'à ce qu'il atteigne le trait supérieur (1), et fermer le robinet.
- L'air traverse le ciment, et le niveau du liquide baisse : chronométrer le temps que met le liquide à passer du 2e trait au 3e trait; soit t (en secondes) la moyenne des temps résultant des 3 3 mesures consécutives.

La surface spécifique est calculée par la formule

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

- t : Temps mesuré en secondes.
- k : Constante de l'appareil.
- ρ : Masse spécifique (g/cm³).
- E : Porosité de la couche tassée, égale 0.500.
- η Viscosité de l'air à la température air=20°C.
- S – Surface spécifique (cm²/g).

Résultat d'essai :

Tableau (III.18) : Surface spécifique Blaine

Essai	Surface spécifique (cm ² /g)	SSB Moyenne (cm ² /g)
1	3680	3652
2	3630	
3	3645	

4. Mesure des temps de début et de fin de prise (EN 196-3) :

- **Le début de prise** : c'est l'instant où l'aiguille cesse de s'enfoncer et s'arrêter à 1mm au fond du moule pour une pâte normale.
- **La fin de prise** : c'est l'instant où l'aiguille ne s'enfonce plus dans la pâte.

Principe de l'essai :

L'essai consiste à suivre l'évolution de la consistance d'une pâte de consistance Normalisée ; l'appareil de viscosité équipé d'une aiguille de 1.13 mm de diamètre.

Quand, sous l'effet d'une charge de 300 g, l'aiguille s'arrête à une distance d du fond du moule telle que $d = 4 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$

Equipement nécessaire :

- Salle climatisée ($20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$) et dont l'humidité relative soit supérieure à 90%.
- Malaxeur normalisé.
- Appareil de Vicat équipé d'une aiguille de 1,13 mm.

MODE OPERATOIRE

On détermine l'essai de prise avec l'appareil de VICAT. Après avoir préparé la pâte normale, il faut remplir immédiatement le moule tronconique et araser la surface supérieure avec une spatule.

Placer le moule rempli de la pâte sous l'axe de l'aiguille, laissé descendre, cette dernière perpendiculairement à la surface et l'immobiliser à son contact. L'aiguille est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans vitesse initiale, lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30s d'attente) relever la distance d séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.

Résultat d'essai :**Tableau (III.19) : Début et fin de prise.**

Le début de prise	150 min	167min
	180 min	
	170 min	
La fin de prise	232 min	248min
	260 min	
	253 min	

Formulation du mortier et du béton

IV .1. Introduction :

Dans le but de mettre en évidence l'influence des ajouts minéraux et adjuvants sur les propriétés mécaniques et sur la durabilité des mortiers et des bétons confectionnés à base de ciment résiste au sulfates (CRS) des essais physiques, chimiques, minéralogiques et mécaniques ont été effectués au sein des laboratoires suivants :

- Laboratoire du département de Génie Civil d'université de BORDJ BOU ARRERIDJ
- Laboratoire chimique d'université de BORDJ BOU ARRERIDJ.
- Laboratoire (LTPO) de BORDJ BOU ARRERIDJ.

IV .2. Mortier :

Nous utiliserons des mortiers normaux, selon la norme NFP 15-403 dont la composition est la suivante :

- 450g de liant, les ajouts étant toujours introduits en substitution du ciment.
- 1350g de sable de carrière de BOUSSAADA.

Ceci correspond donc à un rapport sable/ciment égal à 3.

- Le taux de l'eau de gâchage à été maintenu constant pour l'ensemble des gâchées : $E/C = 0,6$
- Le dosage de l'adjuvant aussi : 1,25 % du poids de ciment pour MEDAFUGE L et 0,6 % du poids de ciment pour MEDAACCEL T85
- Le dosage de l'ajout de pouzzolane et de 15% du poids de ciment
- Le mortier normal est réalisé à l'aide d'un malaxeur dans une cuve de cinq litres répandant aux caractéristiques de la norme NF P 15-411

Nous avons élaboré les éprouvettes suivantes :

(40x40x160) mm³ destinées pour les essais mécaniques.

La procédure de malaxage est celle préconisée dans la norme NF P 15-403:

- Le liant (ciment seul + ajout préalablement malaxés) et l'eau de gâchage sont mélangés à la vitesse de 140 tours/min pendant une minute.
- Le sable est ensuite ajouté.
- Un malaxage de 3 minutes à la vitesse de 280 tours /min est réalisé.
- Après l'arrêt du malaxage, on effectue un raclage manuel des parois de la cuve.
- Enfin, le cycle se termine par un malaxage de trois minutes à 280 tours/min.

Tableau (IV. 01) : Formulation des mortiers

Type du mortier / composants	ORDINAIRE	CRS + 15 % POUZZOLANE (du poids de ciment)	CRS + 1.25 % MEDAFUGEL (du poids de ciment)	CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85 (du poids de ciment)
Sable (g)	1350	1350	1350	1350
Ciment (g)	450	382	450	450
Eau (ml)	270	270	220	222
Adjuvant (g)	sans	68	5.625	2.70
Le rapport E/C	0.6	0.6	0,6	0,6

La conservation des éprouvettes dans (04) milieu :

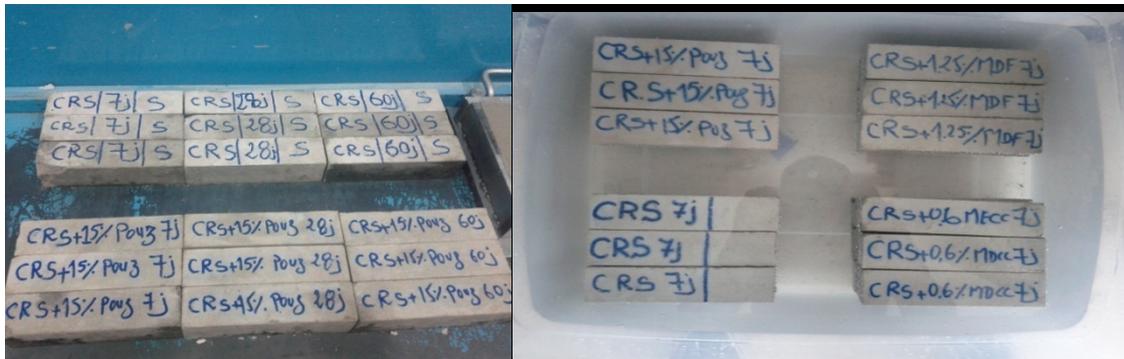


Figure (IV .1) : Milieu ambiant

figure (IV .2) : Eau thermal à température (20 ± 5°C).



Figure (IV.3) : Eau thermal à température (70 ± 5°C)



Figure (IV.4) : Eau potable $20 \pm 5 \text{ C}^\circ$

IV.3. Béton :

Le béton ordinaire a été formulé selon la méthode graphique C E S DE DREAUX GOURISE (71) Qui consiste à étudier le meilleur arrangement des granulats de manière à obtenir la meilleure compacité le rapport $E/C=0,6$ et la résistance en compression visée était pris de 40 MPa après des gâchées, les Moules utiliser $(10 \times 10 \times 10) \text{ cm}^3$.

Les Dosages des constituants sont portés sur le tableau suivant :

Tableau (IV.2) : Formulation des bétons.

Type du béton composants	ORDINAIRE Pour 1m ³		CRS + 15 % POUZZOLANE (du poids de ciment)		CRS + 1.25 % MEDAFUGEL (du poids de ciment)		CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85 (du poids de ciment)	
	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%
Sable (g)	699.4	100	699.4	100	699.4	100	699.4	100
Ciment (g)	385.125	100	327,36	75	385.125	100	385.125	100
Eau (ml)	222.5	100	222.5	100	219,71	98,75	221,165	99,04
Gravier (3/8)	655.74	60	655.74	60	655.74	60	655.74	60
Gravier (8/15)	437.16	40	437.16	40	437.16	40	437.16	40
MEDAFUGE L	00	00	00	00	2,78	1,25	00	00
MEDAACCEL T 85	00	00	00	00	00	00	1,335	0,6
POUZZOLANE	00	00	57,77	15	00	00	00	00
Le rapport E/C	0,57	/	0,57	/	0,57	0,57	0,57	/

a. Les composants de 1 m³ de béton :

➤ Alors pour 1 m³ de béton on utilise :

$$E = 197.5 + 25 = 222.5 \text{ L}$$

$$C = 385.125 \text{ Kg}$$

$$G = 1092.9 \text{ Kg}$$

$$S = 699.4 \text{ Kg}$$

➤ Pour les moles de 10X10X10 on utilise :

$$E = 1.335 \text{ L}$$

$$C = 2.310 \text{ kg}$$

$$S = 4.196 \text{ Kg}$$

$$G = 6.557 \text{ Kg}$$

3.934 kg (8/15)

2.62 Kg (3/8)

➤ **Mode opératoire :**

- Peser les quantités nécessaires à l'aide d'une balance
- Verser le gravier en premier puis le ciment, et le sable en terminant dans un malaxeur à béton
- Malaxer le tout pendant 3min à sec puis commencer à verser l'eau en douceur
- Remplir les moules en 3 couches (piquer chaque couche 10 fois à l'aide d'un pique)
- Maitre les moules sur la table vibrante pendant 15 seconde
- Surfacier les moules à l'aide d'une règle

N.B : Le mode de conservation est le même que celui de la conservation du mortier.

IV.4. Essais sur mortier (flexion et compression)



Figure (IV .5) : Epreuve de mortier après l'essai de compression

a. Essais Mécaniques :

➤ Confection des éprouvettes :

On a utilisé des éprouvettes prismatiques (40 x 40 x 160) mm³ pour les essais de flexion et compression.

➤ Procédure d'essai:

Les échantillons d'essais ont été confectionnés conformément à la Norme ENV 197-1 dans des moules prismatiques (40 x 40 x 160) mm³ et compactés mécaniquement à l'aide d'une table à choc. Une fois arasés, les moules contenant les échantillons sont couverts de film en plastique et stockés dans l'environnement de laboratoire sous une température de 20° ± 1°C et une humidité relative d'environ 55 ± 5%. Le démoulage est effectué après une durée de 24h et les échantillons sont conservés au laboratoire dans une eau saturée en chaux jusqu'au jour de l'échéance.

Il est à noter que les essais mécaniques ont été effectués aux échéances de : 7 et 28 jours.

1. Résistance à la flexion :

La mesure de la résistance à la flexion a été effectuée à l'aide d'un appareil IBERTEST pourvu d'un dispositif de flexion trois points

Pour chaque combinaison, 3 échantillons prismatiques (40 x 40 x 160) mm³ sont testés à une vitesse de chargement constante de 0,5MPa/S

Les essais de flexion sont réalisés sur l'appareil de flexion en plaçant l'éprouvette symétrique et centrée sur le plateau de la presse hydraulique puis une charge continue est appliquée sur l'éprouvette jusqu'à la rupture. La charge P en KN et la résistance à la flexion R_f en MPa sont affichées sur l'écran de l'appareil où l'on effectue la lecture.

Les essais sont effectués conformément à la Norme NF P15-471.

2. Résistance à la compression :

La résistance à la compression des mortiers a été évaluée sur les six demi-primes issues de la flexion trois-points. Le demi-prisme est centré entre les deux plateaux de l'appareil IBERTEST et un chargement est effectué à une vitesse constante de 0.5 MPa/s jusqu'à la rupture. On effectue la lecture de la charge d'écrasement P en KN et la résistance à la compression R_c en MPa sur l'écran de l'appareil.

Les essais sont effectués conformément à la Norme NF P 15-471.

➤ **Ecrasement a 7 jours****Tableau (IV .3) : Conservation dans un milieu ambiant.**

Type de mortier	Flexion	compression
	σ_{7j} moyenne (MPa)	σ_{7j} moyenne (MPa)
CRS	3.1	22.04
CRS + 15 % POZZOLANE	2.525	18.31
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	4.7	32,51
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	4.355	28.20

Tableau (IV.4) : Conservation dans l'eau potable

Type de mortier	Flexion	compression
	σ_{7j} moyenne (MPa)	σ_{7j} moyenne (MPa)
CRS	6.067	29.20
CRS + 15 % POZZOLANE	5.8	24.82
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	6.62	33,83
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	6.5	32.58

Tableau(IV.5) : Conservation dans l'eau thermal (l'eau du hammâm) à température

T=20±5°C :

Type de mortier	Flexion	compression
	σ_{7j} moyenne (MPa)	σ_{7j} moyenne (MPa)
CRS	6.13	28.43
CRS + 15 % POUZZOLANE	5.64	24.90
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	6.2	38.604
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	5.41	34.17

Tableau (IV .6) : Conservation dans l'eau thermal (l'eau du hammâm) température

T=70±5°C

Type de mortier	Flexion	compression
	σ_{7j} moyenne (MPa)	σ_{7j} moyenne (MPa)
CRS	7.16	34.82
CRS + 15 % POUZZOLANE	6.223	28.051
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	8.21	41.188
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	7.74	38.840

➤ **Ecrasement a 28 jours****Tableau(IV.7) : Conservation dans un milieu ambiant**

Type de mortier	Flexion	compression
	σ_{28j} moyenne (MPa)	σ_{28j} moyenne (MPa)
CRS	4.85	24.59
CRS + 15 % POUZZOLANE	3.83	22.034
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	6.27	31.5
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	6.04	30.95

Tableau (IV.8) : Conservation dans l'eau potable

Type de mortier	Flexion	compression
	σ_{28j} moyenne (MPa)	σ_{28j} moyenne (MPa)
CRS	7.26	41.62
CRS + 15 % POUZZOLANE	6.9	37.66
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	7.77	46.4
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	6.7	45.783

Tableau (IV.9) : Conservation dans l'eau thermal (l'eau du hammâm) à température
T=20±5°C

Type de mortier	Flexion	compression
	σ_{28j} moyenne (MPa)	σ_{28j} moyenne (MPa)
CRS	6.65	45.68
CRS + 15 % POUZZOLANE	6.48	42.918
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	7.4	57.133
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	6.81	49.31

Tableau (IV. 10) : Conservation dans l'eau thermal (l'eau du hammâm) à température
T=70±5°C

Type de mortier	Flexion	compression
	σ_{28j} moyenne (MPa)	σ_{28j} moyenne (MPa)
CRS	7.9	36.761
CRS + 15 % POUZZOLANE	6.43	30.29
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	9.4	44.550
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	8.9	43.02

3. Variation de masse :

Tableau(IV.11) : Variation de masse des types de mortier selon le milieu de conservation.

Milieux de conservation	Variation du poids (g)	De 2 jours a 7 jours %	De 2 jours a 28 jours %
	Type Du mortier		
Milieu ambiant 20± 5°C	CRS	-4.33	-6.31
	CRS+15% POUZ	-3.08	-5.08
	CRS+1.25% MDF	-1.82	-2.73
	CRS+0.6% MCC	-1.66	-3.32
Milieu humide température 20± 5°C	CRS	+1.61	+2.14
	CRS+15% POUZ	+1.42	+1.25
	CRS+1.25% MDF	+2	+2.21
	CRS+0.6% MCC	+2.3	+1.41
Milieu humide agressive température 20± 5°C	CRS	+2.7	+2.7
	CRS+15% POUZ	+3.45	+3.07
	CRS+1.25% MDF	+2.18	+2.36
	CRS+0.6% MCC	+1.98	+2.15
Milieu humide agressive température 70± 5°C	CRS	+2.52	+3.6
	CRS+15% POUZ	+1.98	+1.99
	CRS+1.25% MDF	+0.9	+1.1
	CRS+0.6% MCC	+1.07	+0.89

IV .5. Essais sur béton

1. Etat frais :

a. : **Affaissement au cône d'Abrams (slump test EN 12382) :**

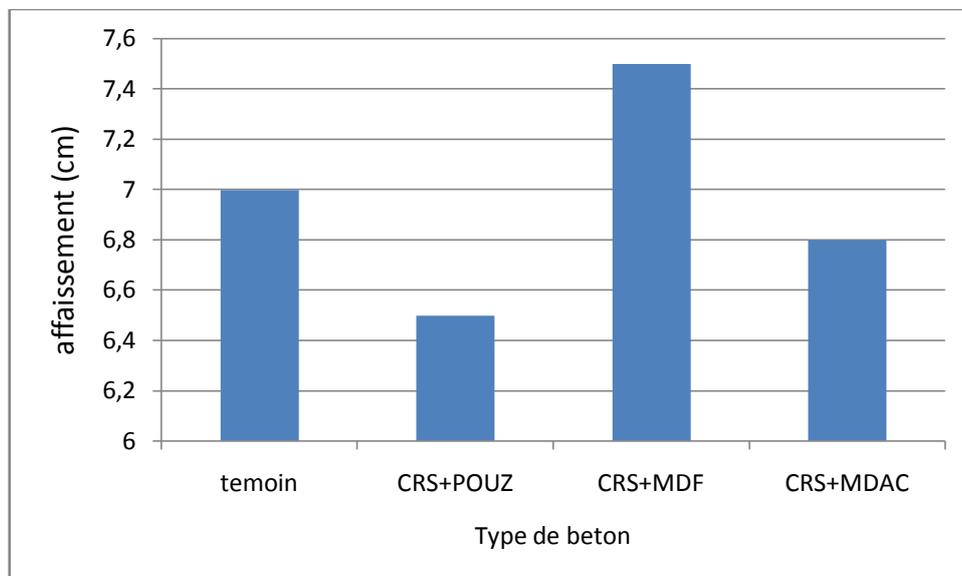
C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre, il est utilisable tant que la dimension maximale des granules ne dépasse pas 40mm, il réalise à l'ordre suivant :

- Introduire le béton dans le moule légèrement ;
- Piquer chaque couche 25 coups avec une tige de $\Phi = 16\text{mm}$;
- Araser en roulant la tige de piquage sur le bord supérieur de moule ;
- Démouler le cône et mesurer l'affaissement à l'aide d'un portique et arrondi au centimètre.

Le tableau

Tableau (IV. 12): L'affaissement des bétons formulés

Le type de béton	Affaissement (cm)
ordinaire	7
CRS + 15 % POUZZOLANE	6.5
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	7.5
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	6.8



Figure(IV.6): L'affaissement au Conne d' Abrhams

b. La teneur en air occlus selon la Norme : EN 12350-7

- Assure une lecture directe de la pression
- Equipé d'une cuve en fonte de capacité 8 litres
- Fixation de la cuve à la partie supérieure par 4 attaches rapides
- Pressurisation de la chambre au moyen d'une pompe manuelle
- Lecture du pourcentage d'air sur le manomètre
- Dimensions : \varnothing 215 mm x hauteur : 560 mm
- Poids : 9,7 kg

➤ Mode opératoire :

La masse volumique est la masse par unité de volume d'un béton. L'essai est effectué conformément à la norme CSA A23.2-4C Ou ASTM C231. L'appareillage utilisé est un air-mètre. Le béton est placé en 3 couches consolidées avec 25 coups de pilon. La surface supérieure du béton est ensuite arasée à l'aide d'une règle.

La masse du contenant rempli de béton – la tare divisée par le volume du contenant donne la masse volumique du béton.

Le tableau suivant représentés les résultats :

Tableau (IV .13): L'air occlus dans différents types du béton

Type du béton	N ° de l'essai	Poids du pot vide (g)	Poids du pot remplis (g)	L'air occlus (%)	Moyenne de l'air occlus (%)
Ordinaire	01	3954	22900	2.55	2.53
	02		22890	2.52	
	03		22910	2.50	
	04		22915	2.57	
CRS+15 % POUZZOLANE	01		22851	2.3	2.36
	02		22855	2.35	
	03		22845	2.25	
	04		22850	2.40	
CRS+1.25 % MEDAFUGEL	01		22900	2.24	2.24
	02		22894	2.25	
	03		22902	2.22	
	04		22899	2.26	
CRS+0.6 % MEDAACCEL T85	01		22857	2.45	2.45
	02		22855	2.50	
	03		22860	2.42	
	04		22856	2.45	

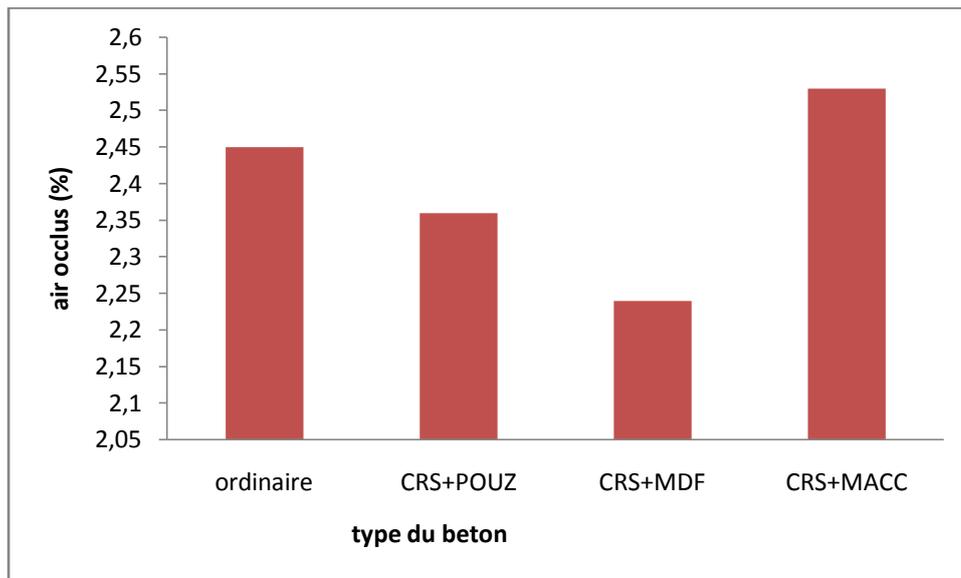


Figure (IV.7): Variation du pourcentage de l'air occlus selon le type du béton

C. : La masse volumique a l'état frais:

- Béton ordinaire :

Tableau(IV.14) : La masse volumique pour béton ordinaire

Numéro du moule	1	2	3	4
Poids du moule+béton (Kg)	3.045	3.037	3.032	3.054
Poids du moule (Kg)	0.485	0.581	0.583	0.590
Masse volumique	2.56	2.45	2.45	2.46
ρ Moyenne (Kg/l)	2.48			

- **Béton avec ajouts (15 % POUZZOLANE) :**

Tableau(IV.15): La masse volumique pour béton ajouts pouzzolane

Numéro du moule	1	2	3	4
Poids du moule+béton (Kg)	3.009	3.032	3.022	3.007
Poids du moule (Kg)	0.485	0.581	0.583	0.590
Masse volumique	2.52	2.45	2.44	2.42
ρ Moyenne (Kg/l)	2.45			

- **Béton avec adjuvant (1.25 % MEDAFUGEL) :**

Tableau (IV.15) : La masse volumique pour béton avec adjuvant MDF.

Numéro du moule	1	2	3	4
Poids du moule+béton (Kg)	3.096	3.074	3.073	3.074
Poids du moule (Kg)	0.485	0.581	0.583	0.590
Masse volumique	2.61	2.49	2.49	2.48
ρ Moyenne (Kg/l)	2.518			

- **Béton avec adjuvant (0.6 % MEDAACCEL T85) :**

Tableau (IV.16): La masse volumique pour béton avec adjuvant MDAC

Numéro du moule	1	2	3	4
Poids du moule+béton (Kg)	3.034	3.030	3.035	3.032
Poids du moule (Kg)	0.485	0.581	0.583	0.590
Masse volumique	2.55	2.45	2.45	2.44
ρ Moyenne (Kg/l)	2.47			

2. Essai sur béton état durci :

a. La résistance à la compression :(essai d'écrasement) EN 12390-3

La résistance a été longtemps considérée comme la qualité essentielle, pour ne pas dire la seule, à rechercher pour un béton.

Les tableaux IV.17, IV.18, IV.19 et IV.20 ; présentent les résultats de la résistance à la compression à 7 jour :

Tableau (IV .17) : Conservation dans un milieu ambiant

Type du béton	Densité (g/cm ³)	Compression
		σ_{7j} moyenne (MPa)
CRS	2.360	22.12
	2.385	
CRS + 15 % POUZZOLANE	2.342	19.51
	2.334	
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	2.370	23.33
	2.330	
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	2.345	19,88
	2.338	

Tableau(IV.18) : Conservation dans l'eau potable à température (20±5c°).

Type du béton	Densité (g/cm ³)	Compression
		σ_{7j} moyenne (MPa)
CRS	2.399	26.247
	2.439	
CRS + 15 % POUZZOLANE	2.406	20.13
	2.405	
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	2.442	31.12
	2.416	
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	2.453	25.09
	2.452	

Tableau (IV.19) : Conservation dans l'eau thermique à température $T = 20 \pm 5^\circ\text{C}$

Type du béton	Densité (g/cm^3)	Compression
		σ_{7j} moyenne (MPa)
CRS	2.386	16.565
	2.428	
CRS + 15 % POUZZOLANE	2.394	14.14
	2.402	
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	2.372	20.1
	2.370	
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	2.389	11.45
	2.386	

Tableau (IV.20) : Conservation dans l'eau thermique température $T = 70 \pm 5^\circ\text{C}$

Type du béton	Densité (g/cm^3)	Compression
		σ_{7j} moyenne (MPa)
CRS	2.419	28.36
	2.418	
CRS + 15 % POUZZOLANE	2.416	24.13
	2.457	
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	2.454	34.4
	2.468	
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	2.489	28.59
	2.415	

Les tableaux IV.21, IV.22, IV.23 et IV.24 ; présentent les résultats de la résistance à la compression à 28 jour

Tableau (IV. 21) : Conservation dans un milieu ambiant.

Type du béton	Densité (g/cm ³)	Compression
		σ_{28j} moyenne (MPa)
CRS	2.356	25.13
	2.345	
CRS + 15 % POUZZOLANE	2.344	17.06
	2.283	
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	2.424	30,22
	2.398	
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	2.395	25,23
	2.396	

Tableau (IV.22) : Conservation dans l'eau potable à température (20±5c°).

Type du béton	Densité (g/cm ³)	Compression
		σ_{28j} moyenne (MPa)
CRS	2.415	26.634
	2.440	
CRS + 15 % POUZZOLANE	2.465	21.96
	2.430	
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	2.388	33.26
	2.411	
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	2.423	29,11
	2.406	

Tableau (IV.23) : Conservation dans l'eau thermale à température ($20\pm 5^{\circ}\text{C}$)

Type du béton	Densité (g/cm^3)	Compression
		σ_{28j} moyenne (MPa)
CRS	2.393	28,518
	2.394	
CRS + 15 % POUZZOLANE	2.395	23,768
	2.395	
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	2.395	34,61
	2.424	
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	2.425	31,31
	2.397	

Tableau (IV.24) : Conservation dans l'eau thermale température $T = 70 \pm 5^{\circ}\text{C}$

Type du béton	Densité (g/cm^3)	Compression
		σ_{28j} moyenne (MPa)
CRS	2.404	25,19
	2.421	
CRS + 15 % POUZZOLANE	2.432	19,95
	2.421	
CRS + 1.25 % MEDAFUGEL	2.468	23,815
	2.424	
CRS + 0.6 % MEDAACCEL T85	2.434	22,7
	2.404	

b. Variation de masse :

Tableau (IV.25) : Variation de la masse dans différents milieux

Milieux de conservation	Variation du poids	De 2 jours a 7 jours (%)	De 2 jours a 28 jours (%)
	Type Du BETON		
Milieu ambiant 20± 5°C	ordinaire	-2.86	-2,28
	CRS+15% POUZ	-3.125	-2
	CRS+1.25% MDF	-2.465	-1,56
	CRS+0.6% MCC	-2.13	-1,71
Milieu humide température 20± 5°C	ordinaire	+0,49	+0,24
	CRS+15% POUZ	+0,46	-0,1
	CRS+1.25% MDF	+1,18	+0,45
	CRS+0.6% MCC	+0,98	+0,68
Milieu humide agressive température 20± 5°C	Ordinaire	+0,95	+1,47
	CRS+15% POUZ	+1,2	+1,18
	CRS+1.25% MDF	+0,33	+0,87
	CRS+0.6% MCC	+0,24	+0,67
Milieu humide agressive température 70± 5°C	Ordinaire	+0,85	+0,91
	CRS+15% POUZ	+0,72	+0,7
	CRS+1.25% MDF	+0,5	+0,33
	CRS+0.6% MCC	+0,59	+0,45

V.1. Introduction :

Notre travail consiste à étudier l'influence des paramètres physiques et mécaniques sur les propriétés du béton et mortier à l'état frais et durci soumis à un milieu agressif qui est l'eau thermale. Pour cela nous avons confectionné quatre formulations pour le béton et pour le mortier.

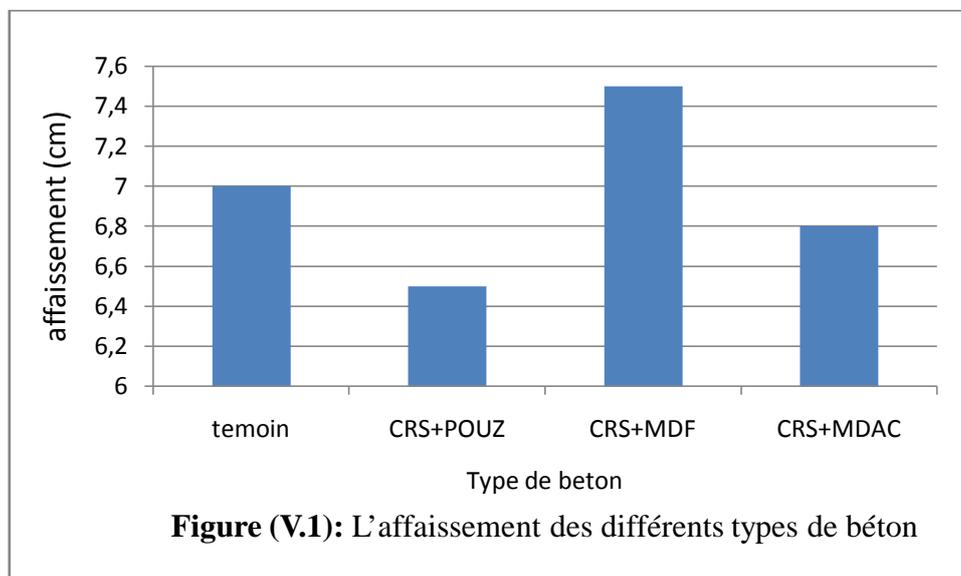
Pour chaque formulation nous avons mesuré les caractéristiques suivantes : l'affaissement, l'air occlus, la résistance en compression et la perte de masse.

Les résultats obtenus de l'étude expérimentale sont représenté par les figures ci-dessous.

V.2. Etude des caractéristiques physiques et mécaniques du béton et du mortier des différentes formulations et interprétation des résultats:

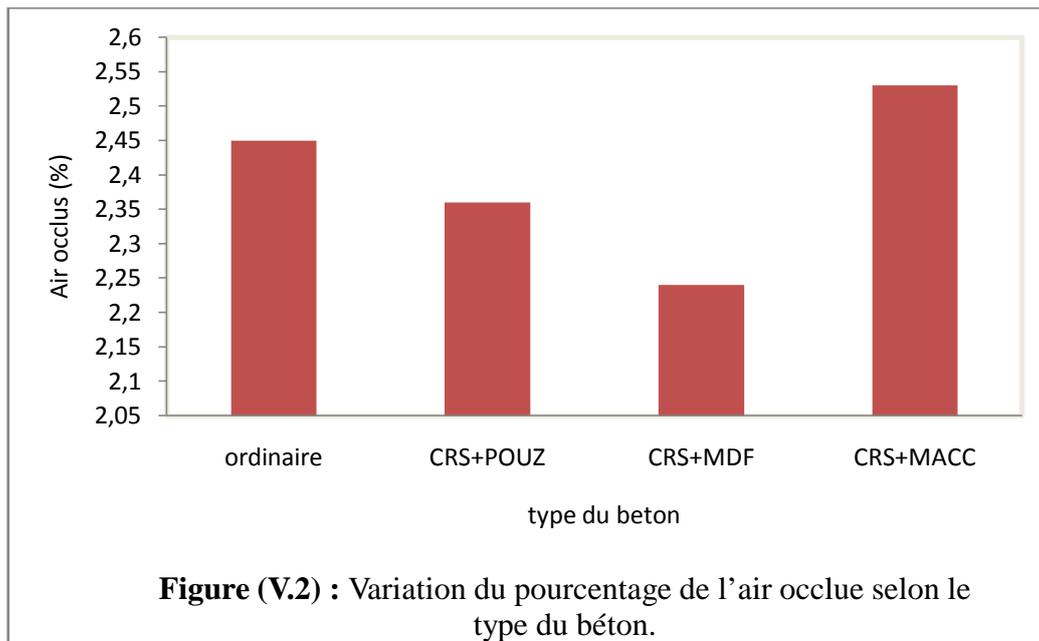
2.1. A l'état frais :

1. L'effet de l'affaissement :



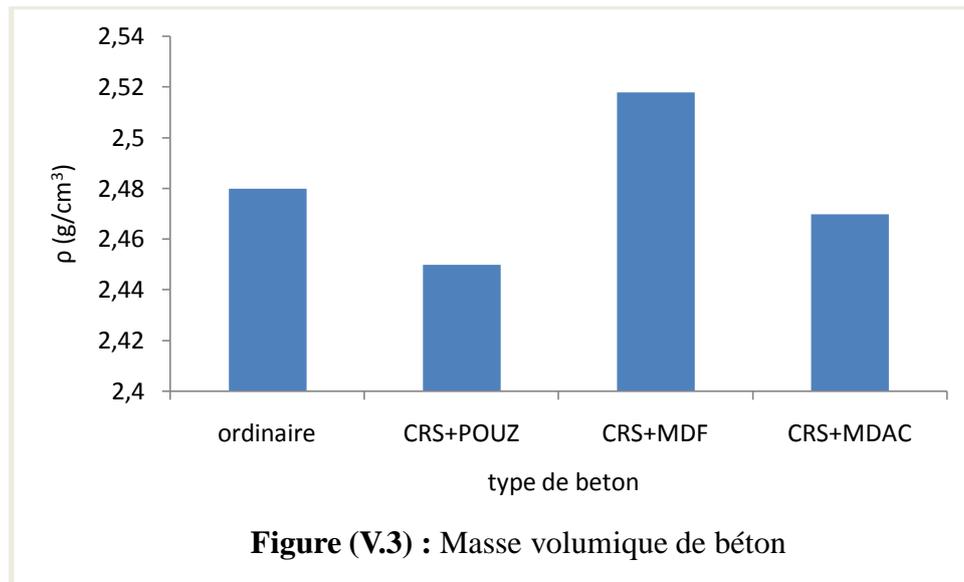
- D'après la figure V.1, on constate que l'affaissement des bétons formulés varie entre 6,5 et 7,5 (béton plastique).
- Avec l'ajout du 15% de pouzzolane l'ouvrabilité du béton diminue par rapport au béton témoin.
- On remarque aussi que le béton est plus plastique avec l'ajout de 1.25% de super plastifiant MEDAFUG L (MDF) du fait de sa propriété d'hydrofuge par contre la plasticité du béton diminue avec l'ajout de 0.6% de MEDAACEL T85 ce qui est du à son effet d'accélérateur de prise.

2. L'effet de l'air occlus :



- D'après la figure V.2, le pourcentage de l'air occlus a diminué dans le béton qui contient la pouzzolane par rapport au béton ordinaire (témoin), ce qui explique que les fillers (pouzzolane) remplissent les vides entre les grains dans le cas du béton.
- Pour les éprouvettes qui contiennent les supers plastifiants, l'air occlus a diminué, ce qui est dû au fait que les supers plastifiants jouent le rôle d'un réducteur d'eau.
- Le pourcentage de l'air occlus a diminué ce qui prouve que le béton est plus compact (compacité élevée).

3. L'effet de la masse volumique :



- On remarque que l'ajout du MEDAFUGEL (MDF) dans le cas de la formulation (CRS – MDF) ce qui rend le béton plus dense et donc plus compact
- On constate aussi que l'ajout du MEDACCEL T85 dans la formulation (CRS+MDAC) n'influe pas sur la densité, c'est-à-dire qu'on a une valeur proche de celle du béton témoin
- Pour la formulation de pouzzolane on trouve une densité inférieure à celle du béton témoin du fait que la masse volumique du ciment est supérieure à celle de la pouzzolane.

2.2. A l'état durci :

1. Influence de milieu de conservation sur la résistance de béton et du mortier :

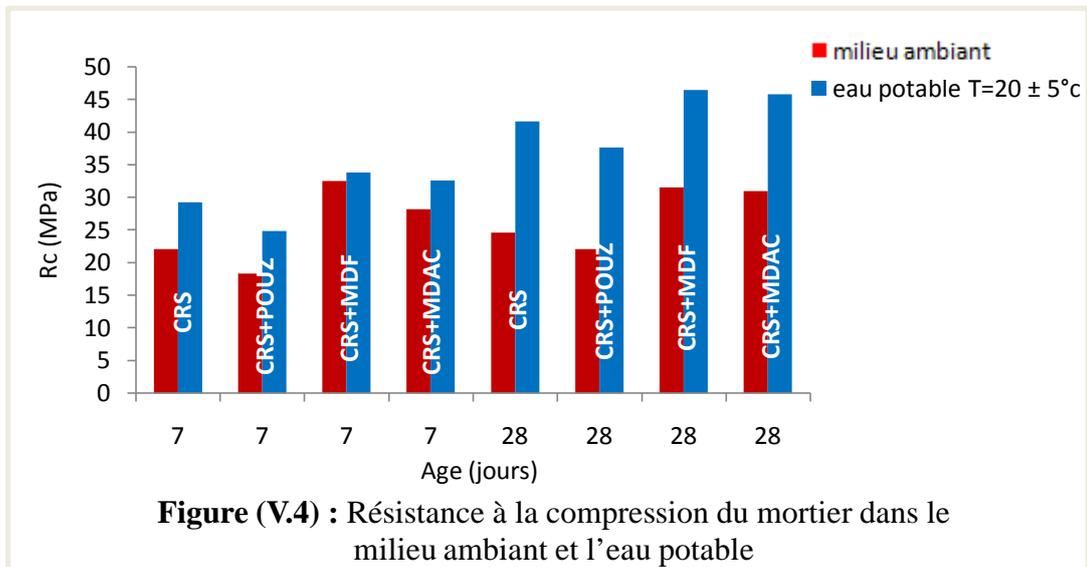


Figure (V.4) : Résistance à la compression du mortier dans le milieu ambiant et l'eau potable

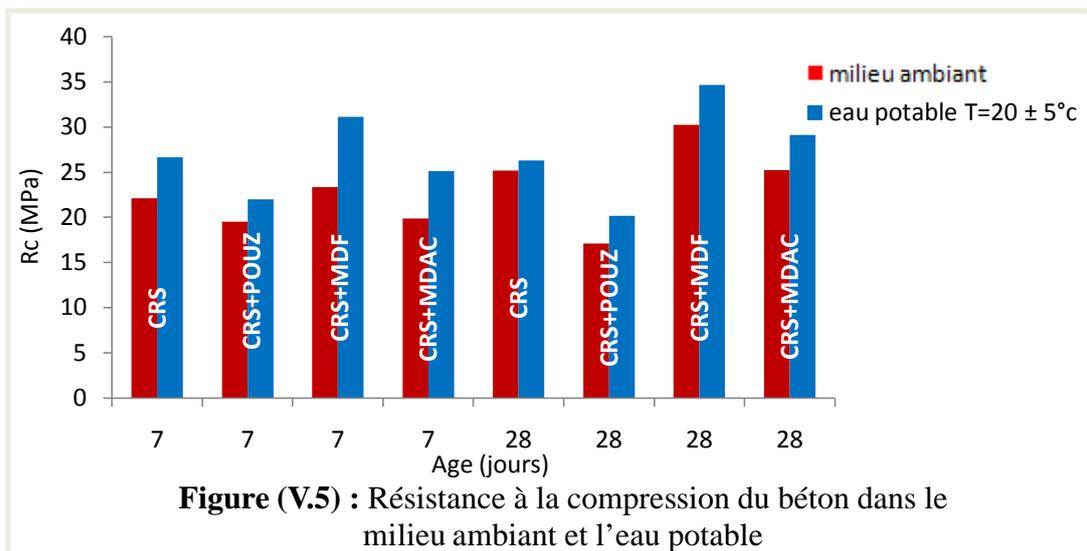
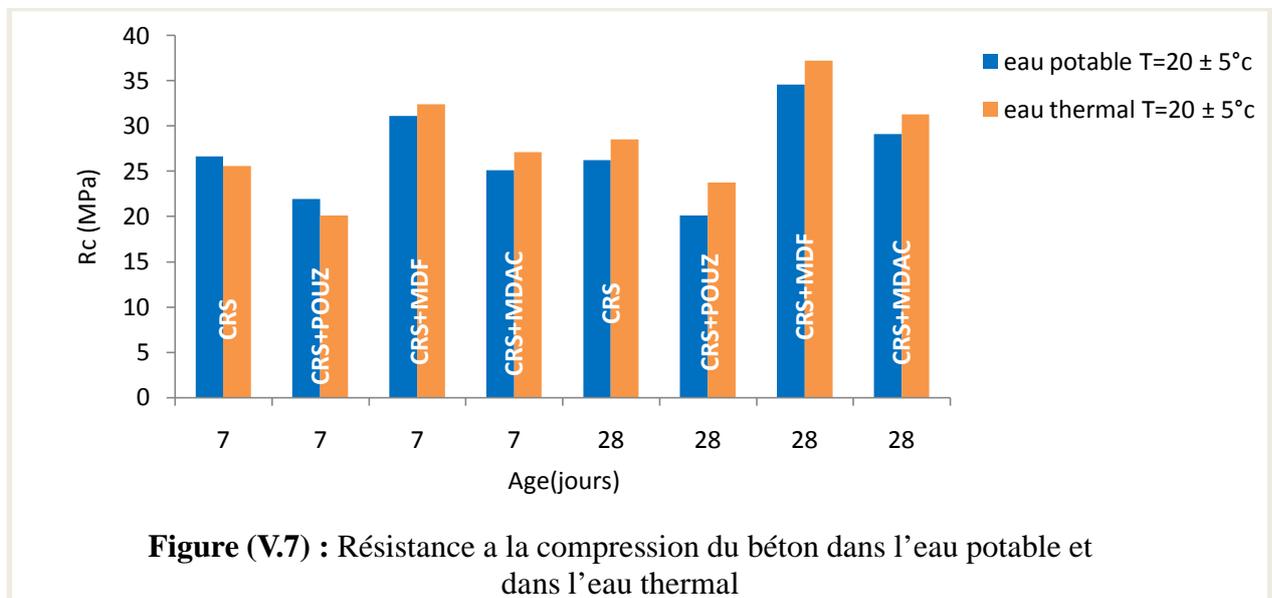
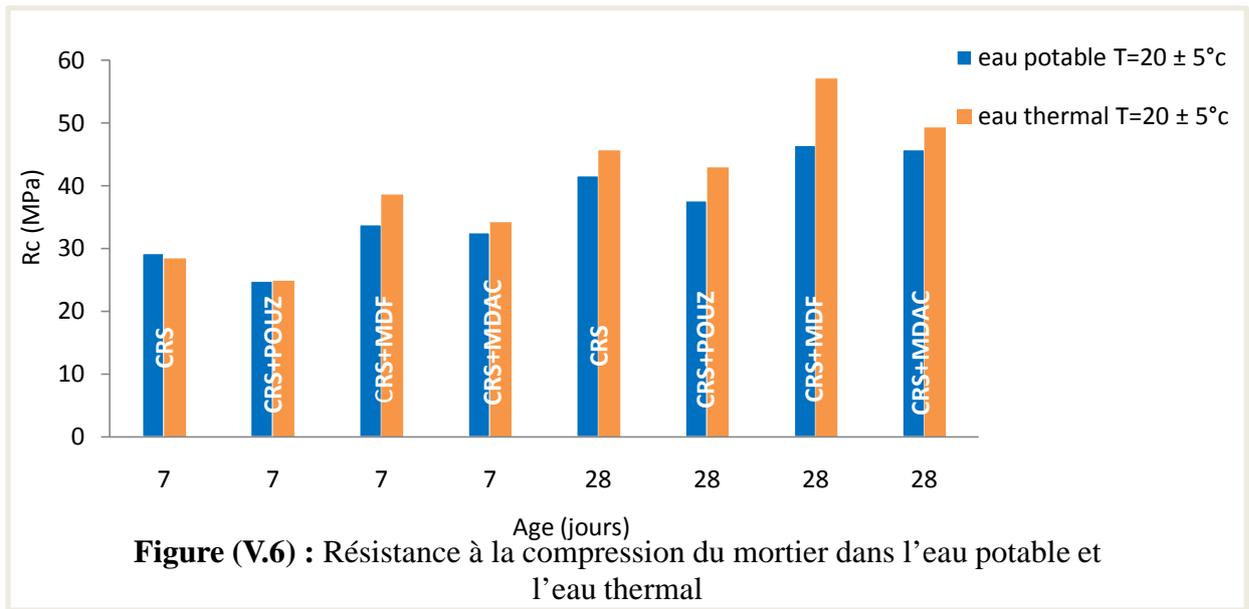


Figure (V.5) : Résistance à la compression du béton dans le milieu ambiant et l'eau potable

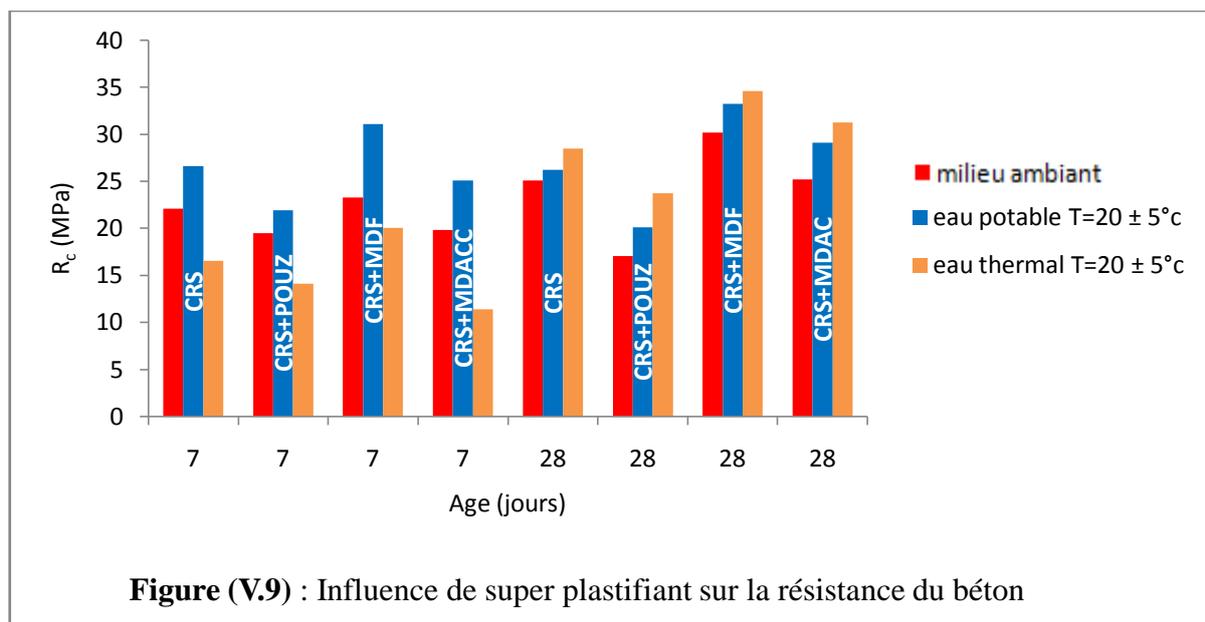
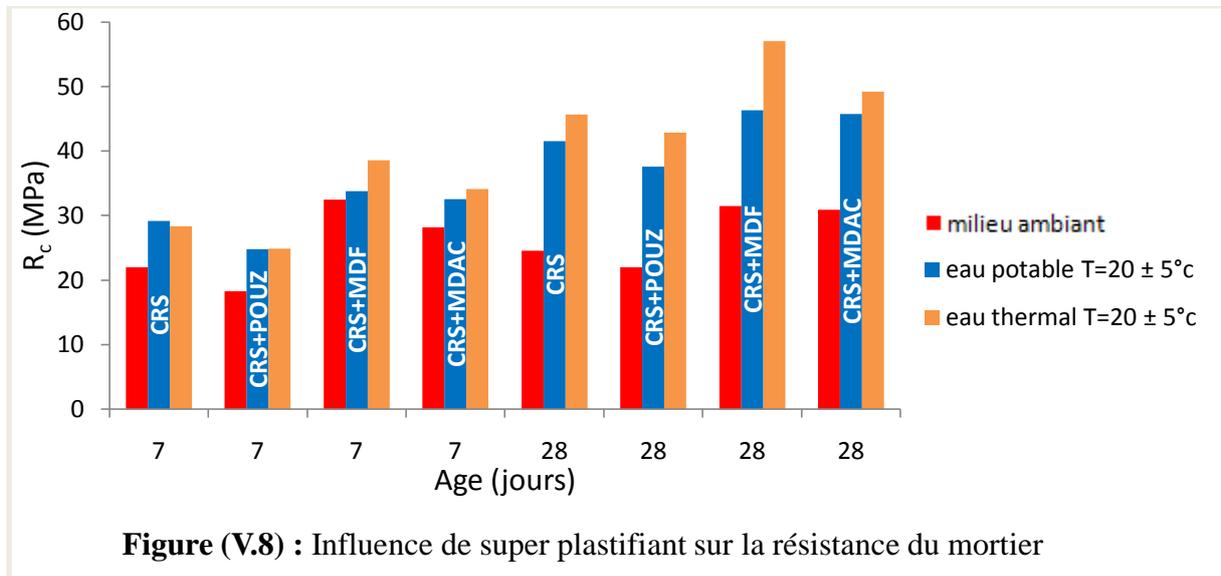
- Les résistances à la compression des quatre formulations augmentent dans le temps entre 7 et 28 jours dues aux réactions d'hydratation.
- Les résistances à la compression des éprouvettes conservées dans l'eau potable sont plus grandes que ceux conservées à l'air libre ce qui est expliqué par le besoin en eau pour une hydratation complète du ciment.
- Les résultats des formulations avec adjuvant sont supérieurs à celle des formulations sans adjuvants : il y a moins de vides dans la matrice cimentaire suite à la diminution du rapport E/C.



- A 7 jours les résultats sont comparables dans les deux milieux mais à 28 jours les échantillons conservés dans l'eau thermique sont devenus plus résistants que ceux conservés dans l'eau potable.
- Les résultats des formulations avec adjuvant sont supérieurs à celle des formulations sans adjuvants (moins de vides- E/C faible).
- La formulation avec pouzzolane donne toujours les résultats les plus faibles par rapport aux autres formulations quelque soit le milieu de conservation ou l'âge. Cela est du à la réactivité à moyen terme de la pouzzolane.
- La résistance des bétons et mortiers dans l'eau thermique est légèrement supérieure à celle des bétons et mortiers conservés dans l'eau potable. Ce résultat a été démontré

par Messaouden [13] en expliquant que lorsque le milieu contenant de petites quantités en sulfates (dans notre cas 1000 mg/l), les formations gypseuses se substituent à la Portlandite facilement soluble. Ces formations comblent les vides et le béton devient plus compact et plus résistant.

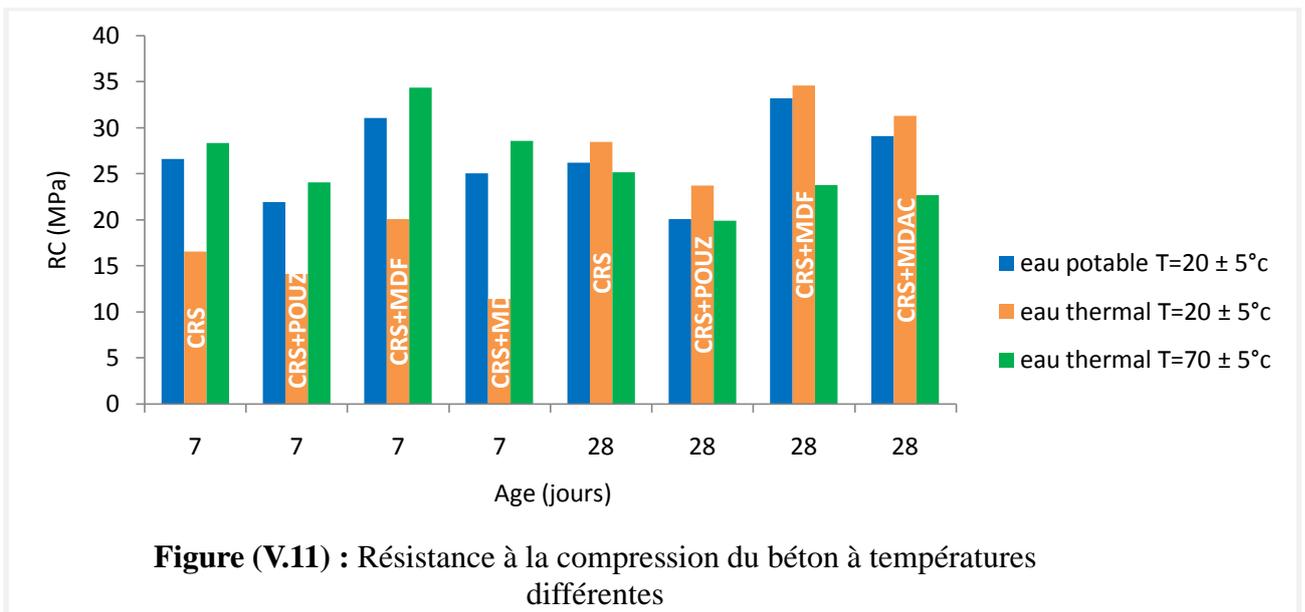
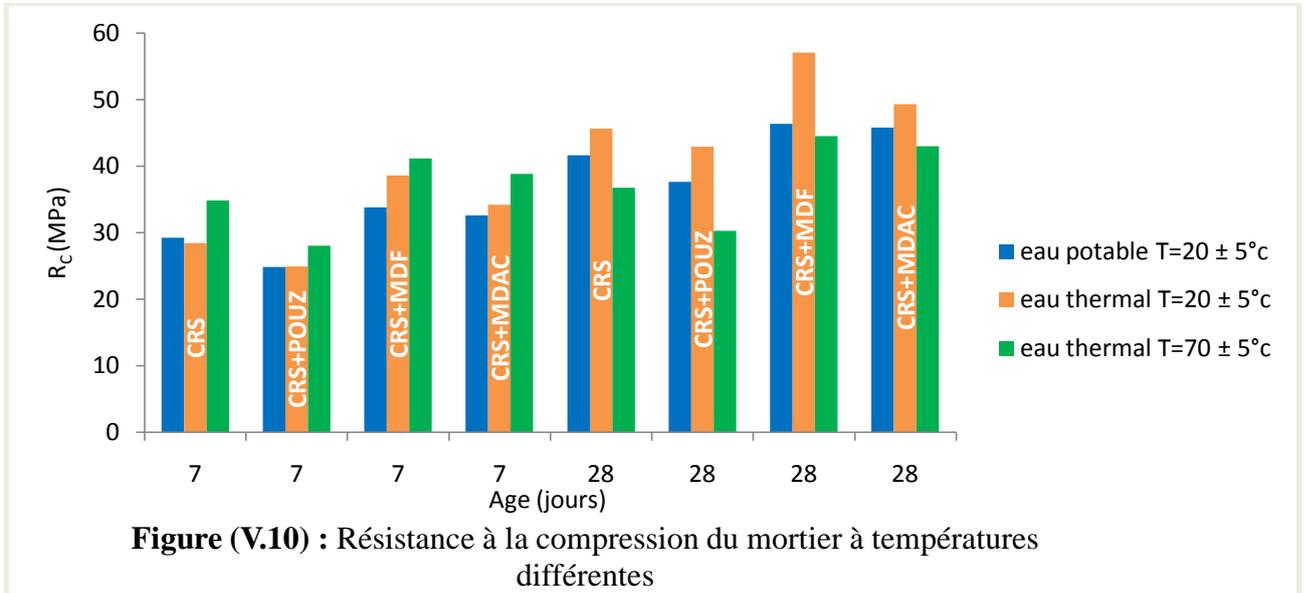
2. Influence de super plastifiant sur la résistance de béton et de mortier



- D'après la figure V.7, on observe que les éprouvettes qui contiennent les adjuvants (MEDAFUGE L ou MEDAACCEL T 85) donnent de meilleurs résultats à la compression par rapport au témoin (CRS) ou ceux qui contiennent l'ajout de la pouzzolane (E/C faible).
- On observe aussi que la formulation avec le super plastifiant MEDAFUGE L (MDF) donne des résultats meilleurs que tous les autres. Ceci explique que notre béton est plus compact et donc plus imperméable.

- Les éprouvettes formulées à base de CRS+Pouzzolane donnent de faibles résultats par rapport au témoin au jeune âge ce qui confirme la réactivité à moyen terme de la pouzzolane.

3. L'influence de la température de l'eau thermique sur la résistance a la compression :

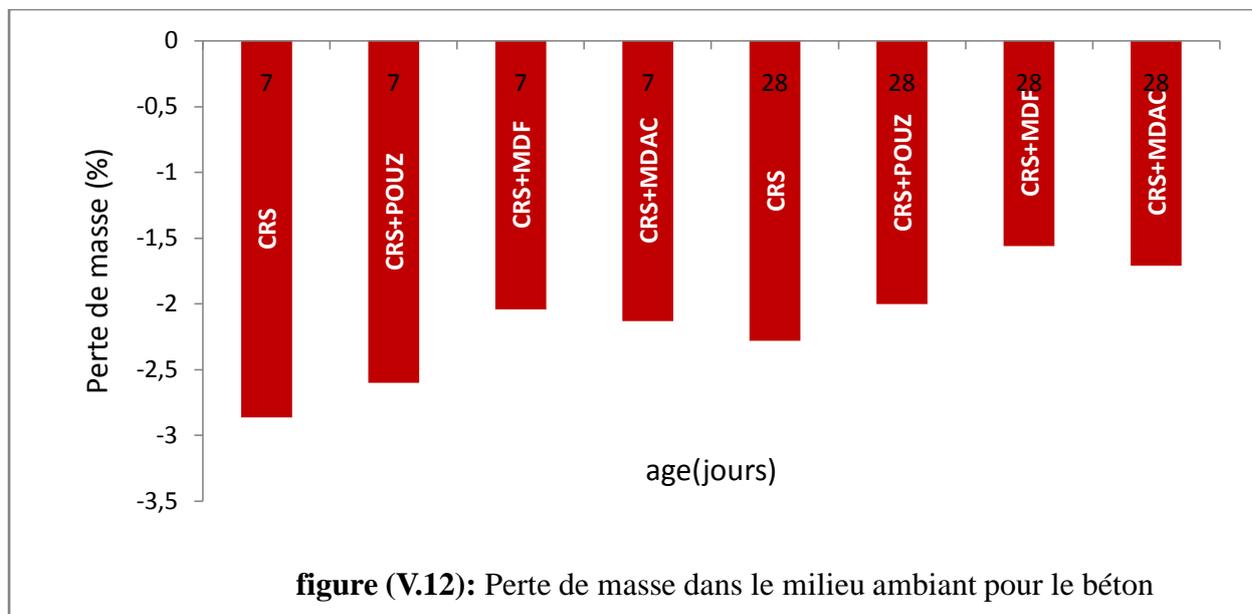
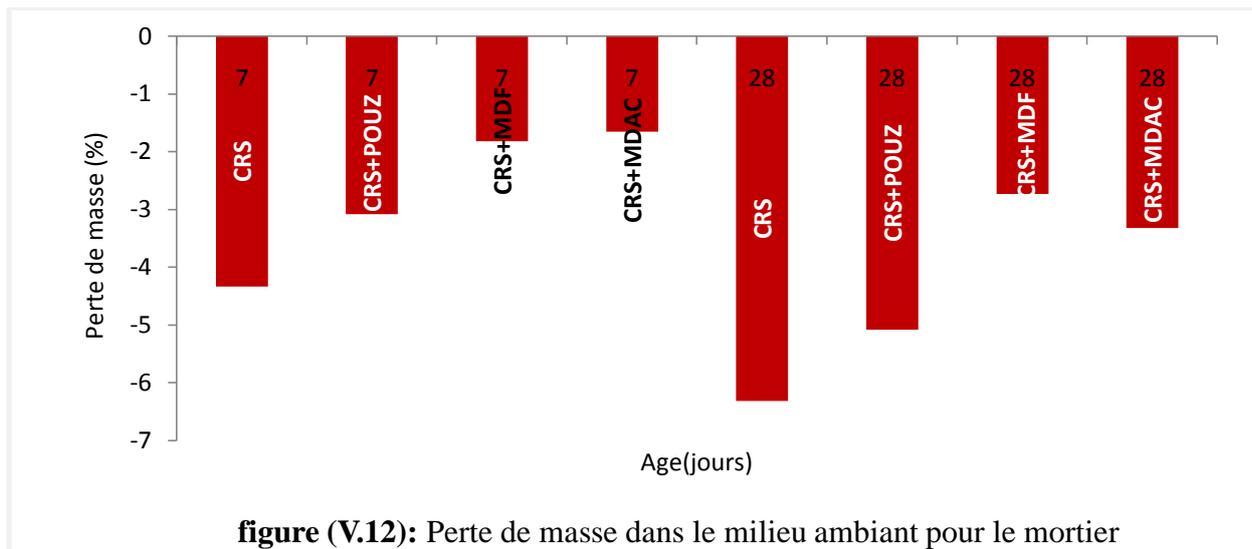


- A partir des figures si dessus, on observe que les résistances des mortiers et bétons dans les 7 premiers jours, pour les deux milieux à température 20°C sont comparables.
- La résistance augmente légèrement à 70°C : l'augmentation de la température accélère la prise et par conséquent le durcissement au jeune âge.
- Par contre, après 28 jours, les résistances à la compression des éprouvettes conservées à 70°C, sont inférieures à celles des autres conservées à 20°C. La température de 70°C

et la période de conservation (28j) ont eu un effet négatif sur la résistance, ceci s'explique par la dégradation de la matrice cimentaires : décomposition des CSH.

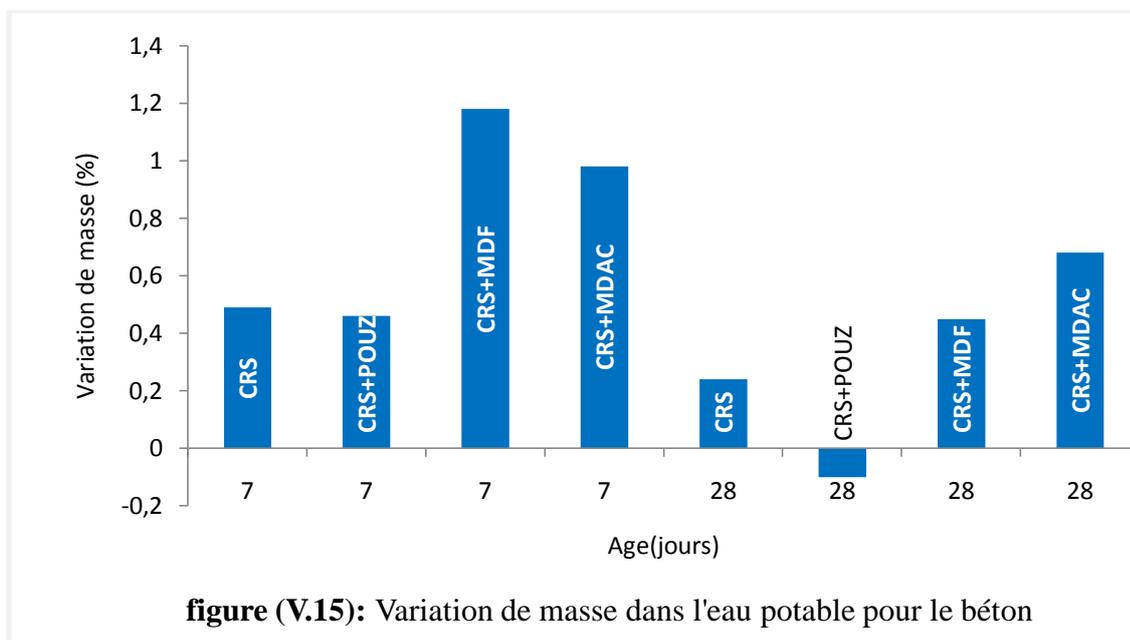
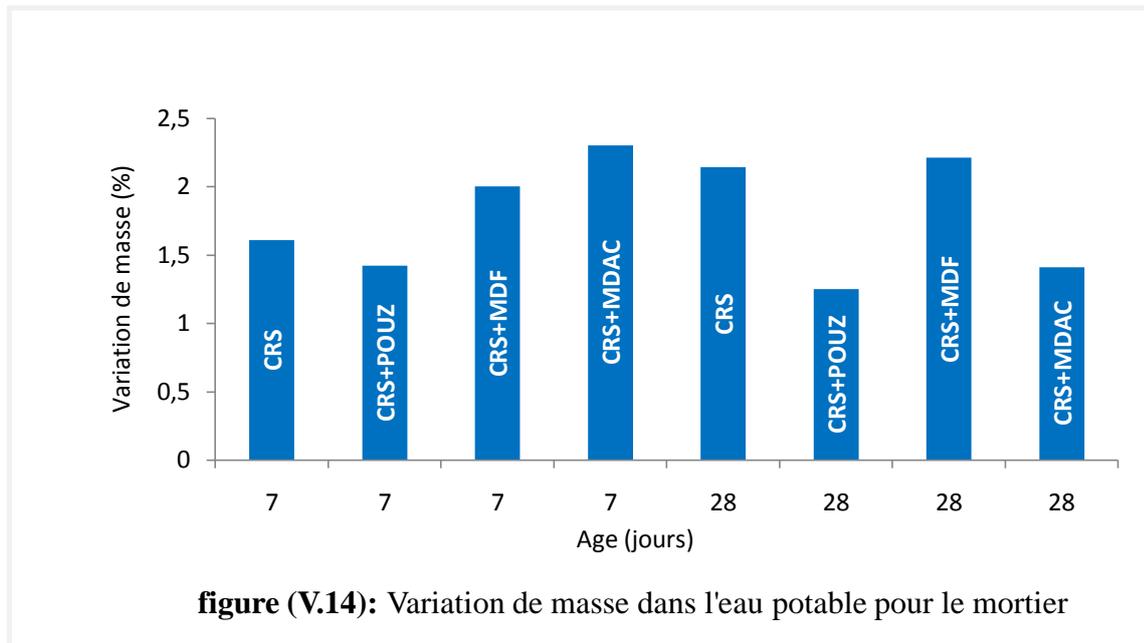
- Evidemment, les résistances des éprouvettes qui contiennent des supers plastifiants sont toujours meilleurs que les résistances des témoins et ceux qui contiennent l'ajout de pouzzolane.

4. Les pertes et les gains des masses :

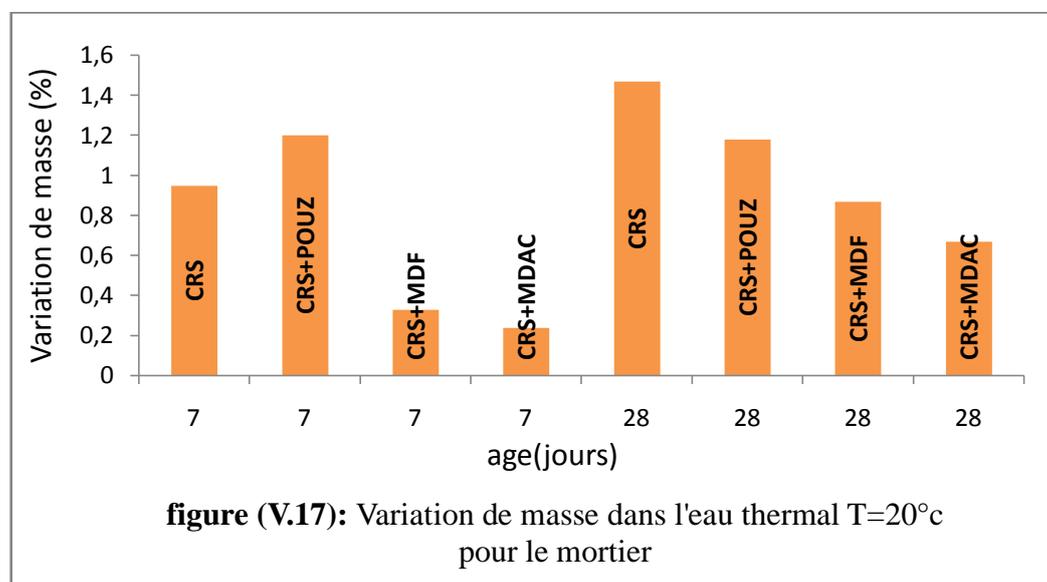
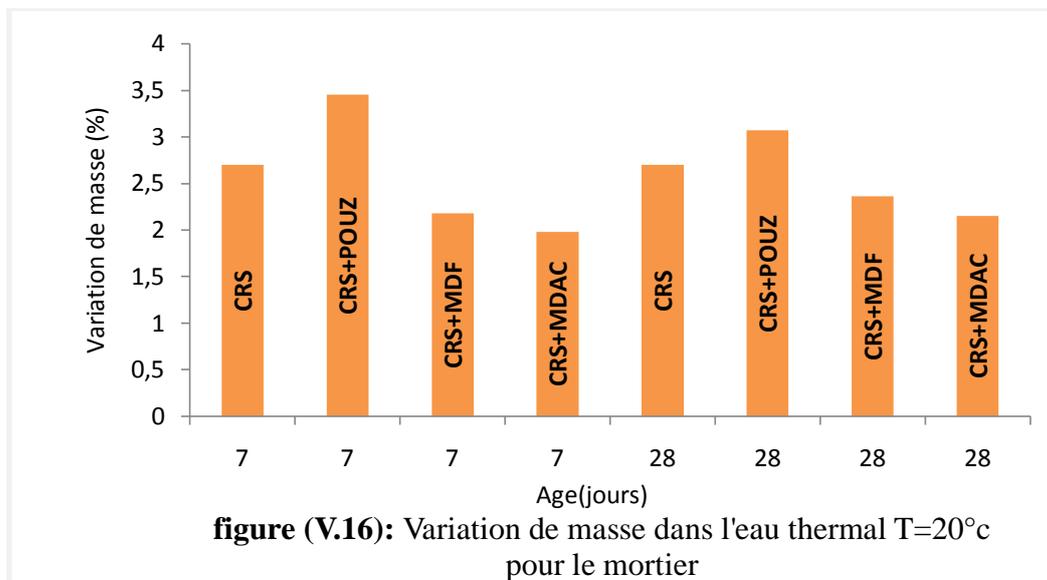


On observe à partir des deux figures :

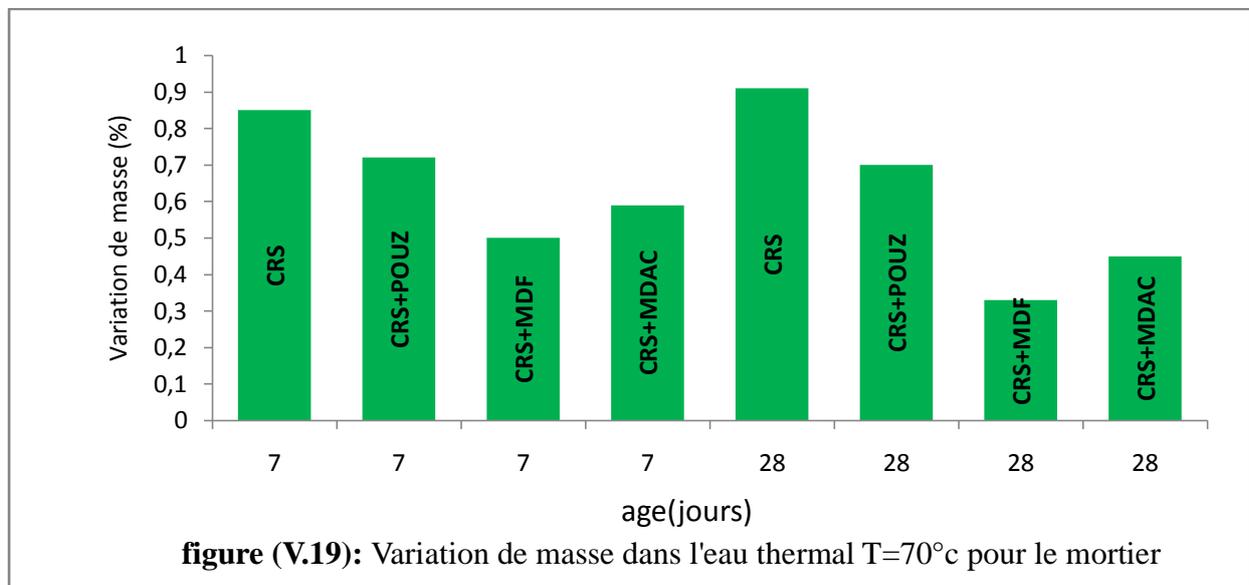
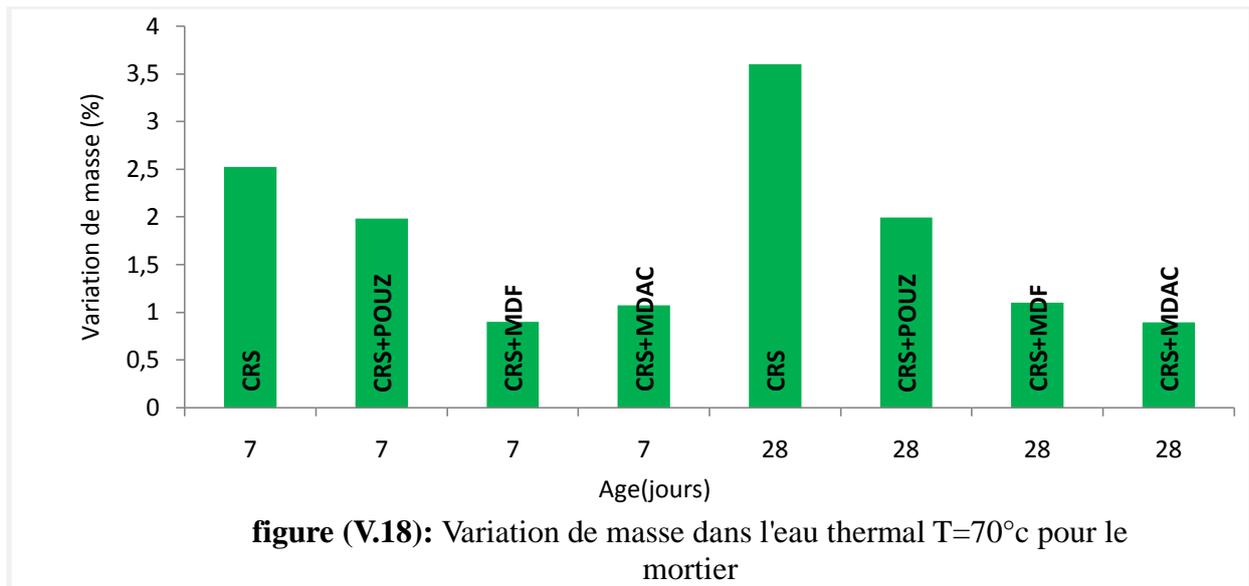
- La masse des éprouvettes en milieu ambiant (20°C) diminue par rapport à sa masse initiale (au démoulage après 2 jours) suite à l'évaporation de l'eau et l'hydratation du ciment.
- Les échantillons confectionnés avec ajout d'adjuvants (1.25 % MDF ou 0.6 % MDAC) sont plus denses (moins de perte de masse) que ceux sans adjuvants : l'eau occlus dans les vides a été évacuée.
- L'ajout de pouzzolane diminue la masse, cela est du à sa grande porosité [13].



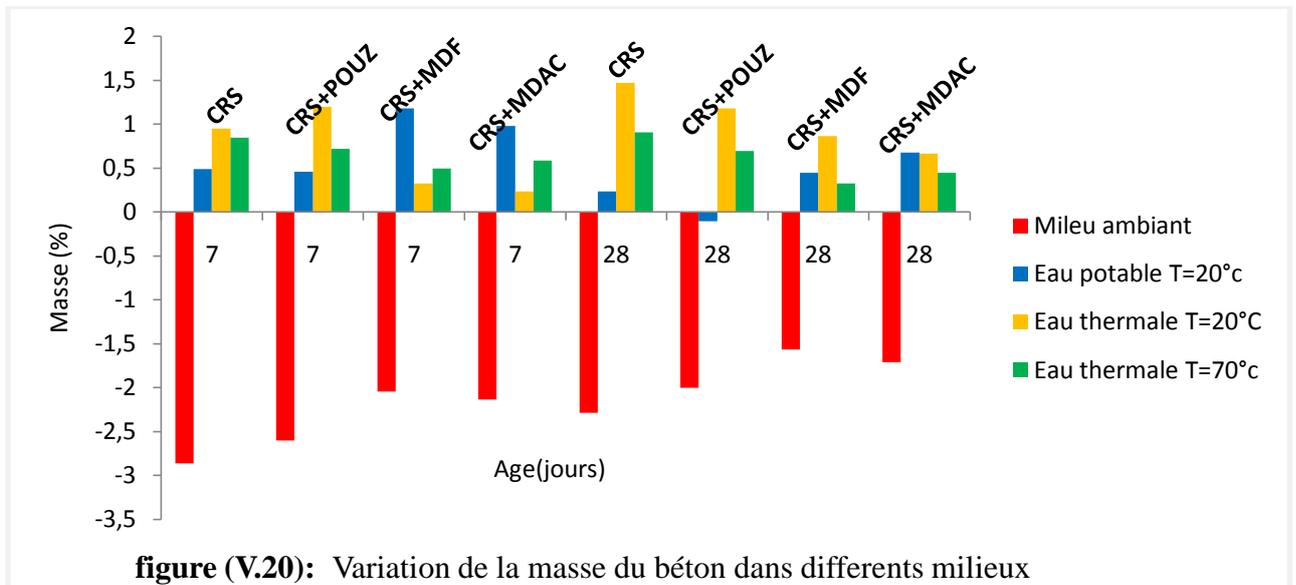
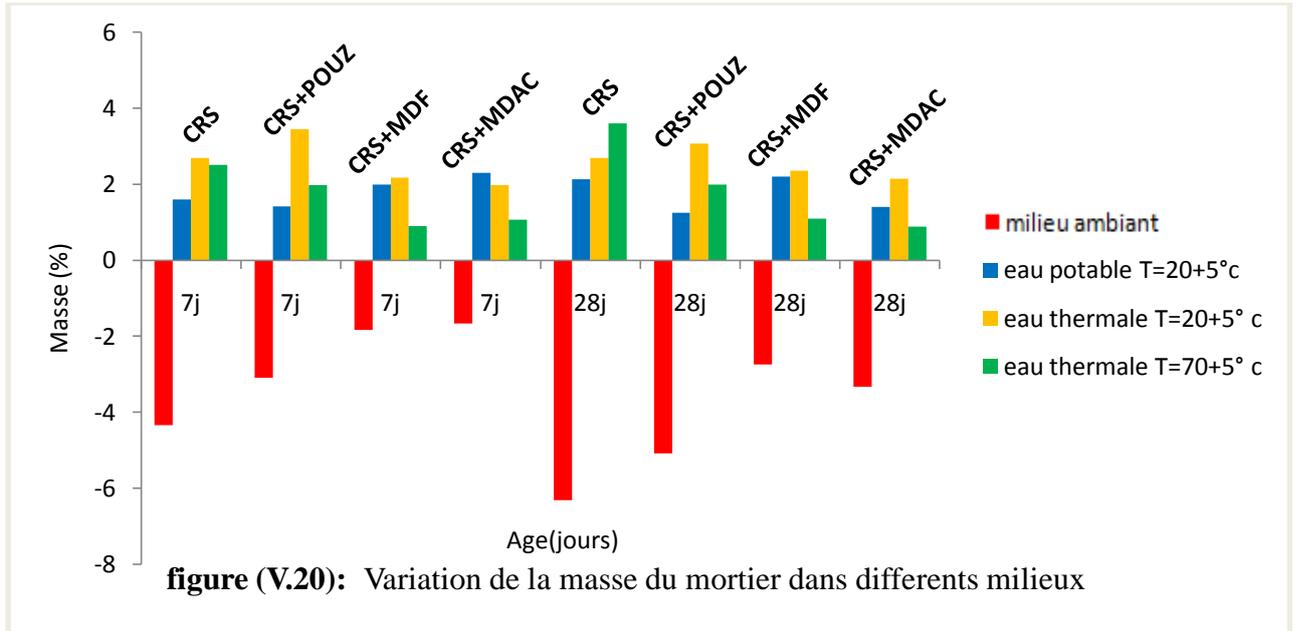
- On remarque un gain de masse pour tous les échantillons qui est justifié par l'absorption de l'eau du milieu de conservation
- Les échantillons qui sont formulés à base de (CRS, CRS avec POUZZOULANE), le gain des poids est inférieur que les autres échantillons avec adjuvants (MDF, MEDAACCEL).
- Le gain durant les premiers 7 jours est supérieur à celui de 28 jours.
- On remarque aussi un cas particulier dans le béton qui contient 15% de pouzzolane à 28 jours (une diminution de masse). La pouzzolane est plus légère que le clinker.



- On constate que les échantillons formulés à base du CRS+POUZZOULANE ont pris plus de poids, cela est dû à la présence de la pouzzolane qui absorbe une grande quantité d'eau.
- Les échantillons qui contiennent les adjuvants (MDF, MEDEACCEL), ont pris moins de poids que les autres échantillons et ça explique que les adjuvants rendent les éprouvettes imperméables.



- On remarque un gain de masse pour tous les échantillons qui est justifié par l'absorption de l'eau du milieu de conservation
- Les échantillons qui contiennent les adjuvants (MDF, MEDEACCEL), le gain de masse poids est inférieur que les autre échantillons tel que CRS, CRS avec ajouts de pouzzolane
- Les gains durant les premiers 7 jours sont inférieures que les derniers 28 jours.



- Les ciments avec ajouts de pouzzolane augmente la masse des mortiers et béton suite à la réaction Pouzzolanique ($\text{Ca(OH)}_2 + \text{SiO}_2 \longrightarrow \text{CSH}$) qui forme d'autres CSH plus stable, ces CSH comblent les vides intergranulaires.
- Dans l'eau thermique, on enregistre un gain de masse plus important pour les premiers 7 jours que dans les derniers jours (28j) ont eu un effet négatif sur la résistance, ceci s'explique par la dégradation de la matrice cimentaires : décomposition des CSH.

Conclusion générale et perspectives

1. Conclusion générale :

L'étude pratique nous a permis de comprendre, la formulation, la caractérisation des bétons, à l'état frais et durci, l'effet de l'ajout de pouzzolane et des adjuvants (MDF, MDAC) dans différents milieux de conservation représentant l'eau thermale.

D'après les résultats obtenus on peut conclure que :

Les résultats obtenus ont montré que :

Une chute considérable des résistances mécanique à 28 jours par rapport au béton témoin conservé dans l'eau potable à $20\pm 5^\circ$ de l'ordre de :

- 25 % pour béton + pouzzolane.
- 10.6 % pour béton + adjuvant (MEDAFUGE L).
- 14.8 % pour béton + adjuvant (MEDACCEL T85).

Néanmoins, les résistances à 7 jours ont augmentés de l'ordre de 9 % à 31 %. Cela est du à l'effet de température qui joue le rôle d'accélérateur de prise aux premiers jours.

Le pourcentage de l'air occlus diminue dans les bétons qui contiennent 15% de l'ajout de pouzzolane ou les adjuvants ; 1,25 % MDF, 0,6% MDAC.

L'ajout de la pouzzolane dans la formulation (CRS + 15% pouzzolane) donne une densité inférieure à celle du béton témoin(CRS).

L'ajout du MEDAFUGEL (MDF) dans la formulation (CRS +1,25 MDF) rend le béton plus dense.

L'ajout du MEDACCEL T85 dans la formulation (CRS+0,6MDAC) n'influe pas sur la densité du béton.

Les résistances à la compression des éprouvettes conservées dans l'eau potable sont plus grandes que ceux conservées à l'air libre.

Les résultats à la compression des formulations avec adjuvant sont supérieurs à celle des formulations sans adjuvants.

Les résistances à la compression des bétons et mortiers dans l'eau thermale à température $20 + 5^\circ\text{C}$ est légèrement supérieure à celle des bétons et mortiers conservés dans l'eau potable ; et aussi supérieure à celle des éprouvettes conservés à l'air libre.

Les résistances à la compression augmentent légèrement à $70 + 5^\circ\text{C}$ aux jeunes âges ; et rechutent après 28 jours, par rapport à celles des autres éprouvettes conservées à $20^\circ\text{C} + 5^\circ\text{C}$.

Les résistances des éprouvettes qui contiennent des supers plastifiants sont toujours meilleures que les résistances des témoins et ceux qui contiennent l'ajout de pouzzolane dans tous les milieux des conservations.

Conclusion générale et perspectives

La masse des éprouvettes en milieu ambiant (20°C) diminue par rapport à sa masse initiale (au démoulage après 2 jours).

Les échantillons confectionnés avec ajout de (1,25% MDF ou 0,6% MDAC) sont plus denses (moins de perte de masse) que ceux sans adjuvants.

L'ajout de pouzzolane diminue la masse, cela est dû à sa grande porosité.

Le principal résultat de cette étude est celui du béton avec adjuvant MEDAFUGE L qui résiste mieux à l'eau thermale.

2. Perspectives

Pour comprendre mieux l'effet de l'eau thermale sur les propriétés des bétons, l'étude à longue échéance est plus que nécessaire (1 an)

Références bibliographiques

- [1] J.C.SAINT – ARROMAN, R.DUPAIN. «Granulats, Sols, Ciments et Béton ». 4^e édition actualisée.
- [2] NF EN 206-1 : Norme française partie 1 «béton : spécification, performance, production et conformité ».
- [3] COURS EN LIGNE, Matériaux de construction, le béton, Chapitre 6, Disponible sur site web <<http://www.coursenligne.refer.org>
- [4] COURS EN LIGNE, Matériaux de construction, Les ciments, Chapitre 2, Disponible sur site web <<http://www.coursenligne.refer.org>
- [5] AMMARI MOHAME et ABDELOUAHAD SIHEM « thèse sur L'effet des fillers de marbres sur la réponse mécanique d'un béton recyclé à base de ciment CRS » Juin 2006.
- [6] VITRUVÉ (traduction). – De Architectura. (De l'architecture), Edit. Perrault, Édité. Nizard, Paris 1852 www.archi-med.com/pdf/textes/pouzzolane.pdf.
- [7] NF EN 12620 Norme française «granulats pour les bétons ».
- [8] NF P15-414, NF P15-431, Norme française, «essai de début de prise».
- [9] I R E X, institué pour la recherche appliquée et l'expérimentation en génie civil « recyclage complet des bétons » France, mai2011.
- [10] S.OUALI, “ les sources thermales en Algérie”, Division Energie Solaire thermique et géothermie. juin 2008.
- [11] Guigue S., “ Les sources thermo minérales de l'Algérie”, Etude géochimique, Bulletin du service de la carte géologique de l'Algérie, 1947, série 3, volume 2.
- [12] Boughalali M, “Thermalisme et thalassothérapie en Algérie”, communication, Revue la Presse thermale et climatique 2003, pp 140,165. Société française d'hydrologie et de climatologie médicale, 2003.
- [13] Messaoudene I, “ formulation, caractérisation et durabilité des matériaux cimentaires au ajout minéraux locaux ”, thèse, INSA-Renne, 2012.