

الجزائرية الديمقراطية الشعبية الجمهورية

République algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

المركز الجامعي لعين تموشنت

Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent

Institut des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil



Mémoire pour l'Obtention du diplôme de Master

Filière : GENIE CIVIL

Spécialité : Structure

Thème

## Etude de béton à base de polymère

**Présenté Par :**

- BENOUIS Hanane Bakhta
- BOUCHENAFI Fatna

**Devant le jury composé de :**

Mdm BENDOUINA Khadija

CUBBAT (Ain Témouchent) Président

Mr HOUMADI Youcef

CUBBAT(Ain Témouchent)Examinateur

Mdm DERBAL Ahlem

CUBBAT (Ain Témouchent) Encadreur

*Année universitaire 2018/2019*

## **REMERCIEMENTS**

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH Miséricordieux qui nous a donné la volonté et la patience pour achever ce mémoire.*

*Ce travail a été effectué dans le laboratoire des matériaux de construction du département de génie civil du Centre Universitaire Belhadj Bouchaïb d'Ain-Temouchent.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreuse Mme Derbal ahlem, pour ses précieux conseils et son aide durant toute la période de ce mémoire.*

*Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi aux messieurs le président et les membres de jury d'avoir accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.*

*Nôtres remerciement vont également aux les ingénieurs du laboratoire Matériaux des construction de C.U.B.B.A.T :Mr Keddou, Mlle Kawthar, Mme Nadjat, pour son accueil bienveillant.*

*Enfin, que nos chers parents, familles et mes amis pour leur aides, soutien et encouragement afin de nous assurer cette formation de master dans les meilleures conditions.*

## *Dédicace*



*Je dédie ce modeste travail à :*

*Ceux qui se sont donné toutes les peines et les sacrifices, Pour me voir réussir dans la vie, a ceux qui m'ont beaucoup soutenu ; mes très chères parents a mon cœur qui m'ont aidé durant toutes ces longues années d'étude :*

*Ma mère ZAHRA et mon père SAÏD.*

*A mon frère FARID et mes sœurs DJAMILA et NAJAT.*

*A mon cher mari AHMED.*

*Et toutes les familles de BOUCHENAJA et BAHAR.*

*A tous les membres de ma famille : mes grand-mères, mes tantes, et les enfants.*

*A mon très cher binôme BENOUIS HANANE et sa famille.*

*À mes meilleurs amis: ASMAA, IBTISSEM, ASSIA, SAMIRA.*

*Et a toute ma promotion de Génie civil et aussi,*

*Tous ceux qui ma connaissent.*

*BOUCHENAJA FATNA*



## ***Dédicace***

*Je dédie ce modeste travail :*

*A la source de tendresse et mon soutien moral ma chère mère,  
Toujours ta prière et ta bénédiction sont là clé de ma vie, dieu ne  
coupe pas votre voix de la maison et vous donne une longue vie.*

*A l'homme de ma vie, mon soutien moral et source de joie et de  
bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir le plus réussi  
Mon cher Père.*

*A mes chers frères, MOHAMED EL AMINE et SAMIR, pour leur  
appui et leur encouragement.*

*A tout la famille : BENOUIS, BASSACI.*

*A tous les membres de ma famille : mes grand-mères, mes tantes, et les  
enfants.*

*A ma binôme FATNA et sa famille BOUCHENAJA.*

*A toutes mes copines de la promotion: IBTISSEM, ASMAE, IMEN,  
SAMIRA, RADIA, SOUHILA.*

*A mes chères amies : ASSIA, IKRAM, NADA, SARRA.*

***BENOUIS HANANE***



## *Résumé*

L'importante diversité des matériaux naturels et artificiels rencontrés en génie civil ouvre un large emploi de ceux-ci dans le domaine de la construction. Les propriétés plus importantes de ces matériaux et leur caractère économique jouent un rôle important dans la détermination de leur domaine d'application. L'utilisation du béton polymère offre une grande souplesse dans la conception des ouvrages et induit plusieurs économies.

En premier lieu le travail effectué consiste à la confection des bétons ordinaire et bétons polymère avec ajout des fibres (polypropylènes, et polyéthylènes).

L'effet de différents types de béton polymère a été étudié. L'un des principaux objectifs de ce travail est de comparer les résultats de la résistance mécanique obtenus pour le béton normal et le béton polymère avec d'autres essais, tels que la mesure d'essais complémentaires pour mesurer l'absorption capillaire et poreuse.

Des essais au niveau du laboratoire ont été effectués, afin de déterminer les propriétés mécaniques et la durabilité des bétons étudiés.

Mots clés : Béton polymère, Résistance mécanique, porosité, absorption.

## *Abstract*

The large diversity of natural and artificial materials found in civil engineering makes them widely used in the field of construction. The more important properties of these materials and their economic nature play an important role in determining their field of application. The use of polymer concrete offers great flexibility in the design of structures and induces several savings.

In the first place the work carried out consists of making ordinary concrete and polymer concrete with addition of fibers (polypropylenes, and polyethylene).

The effect of different types of polymer concrete has been studied. One of the main objectives of this work is to compare the results of mechanical strength obtained for normal concrete and polymer concrete with other tests, such as the measurement of complementary tests to measure the poetic and porous absorption.

Mathematical relations are therefore developed in this study between the chemical and mechanical properties determined in the cured state.

**Key words:** Polymer concrete, Mechanical resistance, porosity.

## **المخلص**

إن التنوع الكبير للمواد الطبيعية والاصطناعية الموجودة في الهندسة المدنية يجعلها تستخدم على نطاق واسع في مجال البناء. تلعب الخصائص الأكثر أهمية لهذه المواد وطبيعتها الاقتصادية دورًا مهمًا في تحديد مجال تطبيقها. يوفر استخدام الخرسانة البوليمرية مرونة كبيرة في تصميم الهياكل ويحفظ العديد من المدخرات.

في المقام الأول ، يتكون العمل المنجز من تصنيع الخرسانة العادية والخرسانة البوليمرية مع إضافة الألياف (البولي بروبيلين والبولي إيثيلين).

تمت دراسة تأثير أنواع مختلفة من الخرسانة البوليمرية. أحد الأهداف الرئيسية لهذا العمل هو مقارنة نتائج القوة الميكانيكية التي تم الحصول عليها للخرسانة العادية والخرسانة البوليمرية مع اختبارات أخرى ، مثل قياس الاختبارات التكميلية لقياس الامتصاص الشعري والمسامي.

لذلك تم تطوير العلاقات الرياضية في هذه الدراسة بين الخصائص الكيميائية والميكانيكية المحددة في الحالة الصلبة .

**الكلمات الرئيسية :** الخرسانة البوليمرية ، المقاومة الميكانيكية ، المسامية.

## Sommaire

REMERCIEMENTS.....	I
Dédicace .....	II
Dédicace .....	III
Résumé .....	IV
Abstract .....	V
المخلص .....	V
Sommaire .....	VI
Liste des abréviations .....	IX
Liste des figures .....	X
Liste des tableaux .....	XIII
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I: .....	3
GÉNÉRALITÉ SUR LE BÉTON .....	3
1. Introduction : .....	4
2. Historique de béton : .....	4
3. Définition du béton : .....	5
4. Les composants des bétons : .....	6
4.1. Le ciment : .....	6
4.2. Les granulats : .....	7
4.3. Classification des granulats : .....	7
4.4. Léau de gâchage : .....	9
4.5. Adjuvant : .....	9
5. Les différents types de béton : .....	11
6. Conclusion : .....	24
CHAPITRE II: .....	25

GÉNÉRALITÉ SUR BÉTON POLYMÈRE .....	25
1. Introduction : .....	26
2. Historique de polymère : .....	26
3. Définition de polymère : .....	27
4. Structures et propriétés de polymère : .....	27
5. Applications des polymères: .....	29
6. Les type de polymère qui sont utilisés : .....	30
6.1 Fibres de polypropylène : .....	30
6.2 Fibres de polyéthylènes : .....	32
7. Définition du béton polymère : .....	35
8. Propriétés de béton polymère : .....	36
9. Les principaux avantages et les inconvénients du béton polymère : .....	36
Les avantages d'un béton polymère .....	36
les inconvénients d'un béton polymère .....	36
10. Rôle des fibres polymère : .....	36
11. Comparaison entre béton polymère et béton ordinaire : .....	37
12. Les différentes applications d'un béton polymère : .....	38
13. Conclusion : .....	41
CHAPITRE III: .....	42
MATÉRIAUX UTILISÉS ET MÉTHODES D' ESSAIS .....	42
1. Introduction : .....	43
2. les matériaux et outils utilisées : .....	43
2.1 Ciment (GICA) : .....	43
2.2 Sable de mer : .....	45
2.3 Léau de gâchage : .....	48
2.4 Gravier : .....	49
2.5 Adjuvant : .....	51

2.6	Les fibres :	52
3.	Mesures expérimentales	53
	Essais sur les granulats :	53
4.	Formulation des bétons	60
5.	Technique expérimental	62
	Les essais sur les éprouvettes :	66
6.	Conclusion :	69
CHAPITRE IV:		70
RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS		70
1.	Introduction :	71
2.	Interprétations des résultats	71
2.1	Résistance en compression :	71
2.2	Mesure de l'absorption capillaire	73
2.3	Mesure la porosité accessible à l'eau	76
Conclusion générale		80
Référence bibliographique		81
ANNEXE A		84
ANNEXE B		86
ANNEXE C		88
ANNEXE D		90
ANNEXE E		91
ANNEXE F		93

## *Liste des abréviations*

**B.T** : *béton témoin.*

**B.P** : *béton polymère.*

**B.P1** : *béton polymère à base de polypropylène.*

**B.P2** : *béton polymère à base de polyéthylènes.*

**B.P3** : *béton polymère à base de polypropylène et polyéthylènes.*

**E** : *Eau.*

**LTPO** : *Laboratoire des travaux publics Ouest.*

**SiO<sub>2</sub>** : *La silice.*

**CaO** : *La chaux.*

**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : *L'alumine.*

**Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** : *L'oxyde de fer.*

**SO<sub>3</sub>** : *Les sulfates.*

**CO<sub>2</sub>** : *L'Anhydrique carbonique.*

**M<sub>f1</sub>** : *Module de finesse du sable de mer.*

**M<sub>f2</sub>** : *Module de finesse du sable concassé.*

**M<sub>app</sub>** : *Masse volumique apparente.*

**M<sub>abs</sub>** : *Masse volumique absolue.*

**C** : *Composition des bétons .*

**RC** : *Résistance à la compression.*

## *Liste des figures*

### **Chapitre I : Généralités sur le béton .**

Figure 1: Béton [3].	6
Figure 2: Les composants des bétons	6
Figure 3: Différent type de ciment [4]	7
Figure 4: Sable [3]	8
Figure 5: Gravier [3]	8
Figure 6: L'eau de gâchage. [3]	9
Figure 7: Les adjuvants [3]	9
Figure 8: Béton léger [3]	11
Figure 9: Le béton armé. [3]	12
Figure 10: Le béton précontraint. [3]	13
Figure 11: Béton haut performance. [3]	14
Figure 12: Le béton auto-plaçant [3]	15
Figure 13: Béton projeté. [3]	16
Figure 14: Béton coloré [3]	18
Figure 15: Béton ciré . [3]	19
Figure 16: Béton lourd. [3]	20
Figure 17: Le béton décoratif . [3]	21
Figure 18: Béton bitumineux . [3]	22

### **chapitre II: Généralités sur le béton polymère.**

Figure 19: Polymère [3]	27
Figure 20: Polymérisation [27]	29
Figure 21: Schéma représentatif de la réaction de polymérisation du polypropylène. [31]	30
Figure 22: Polypropylène.	31
Figure 23: Schéma représentatif du polypropylène iso tactique.	31
Figure 24: Schéma représentatif du polypropylène syndiotactique	31
Figure 25: Schéma représentatif du polypropylène atactique	32
Figure 27: Schéma représentatif du polyéthylène [32]	33
Figure 28: La polymérisation du polyéthylène.	33
Figure 26: Polyéthylène.	33
Figure 29: Béton polymère [3]	35

Figure 30:préfabriqué béton polymère .....	35
Figure 31:Façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment.[3] .....	38
Figure 32:Quelques applications du béton polymères (Bacs de fleurs –chaise).[3] .....	39
Figure 33:Quelques applications du béton polymères (des chaussés et planchers). [3].....	39
Figure 34:Quelques applications du béton polymères (drainage et hydrauliques). [3] .....	40
Figure 35:Quelque application de béton polymère (industrie).[3] .....	40

### **chapitre III: matériaux utilisés et méthodes d'essais.**

Figure 36:Quelque application de béton polymère (isolation phonique ).[3] .....	41
Figure 37:Le ciment utilisé. ....	44
Figure 38:Sable utilisé.....	45
Figure 39:Courbe granulométrique de sable de mer (0/2 mm). ....	48
Figure 40:Eau potable. ....	49
Figure 41:Le gravier utilisé. ....	50
Figure 42:Courbe granulométrique de gravier (3/8). ....	50
Figure 43: Les types des fibres utilisées.....	52
Figure 44: Les matériels utilisés.....	54
Figure 45: La masse volumique apparente de sable.....	54
Figure 46: La masse volumique apparente de ciment. ....	55
Figure 47: La masse volumique apparente de gravier.....	55
Figure 48:Les matériels utilisés.....	56
Figure 49:la masse volumique absolue de sable, gravier. ....	56
Figure 50:Les matériels utilisés de teneur en eau.....	57
Figure 51:La teneur en eau du sable, gravier. ....	58
Figure 52: les résultats obtenus de l'essai de foisonnement.....	59
Figure 53:Courbes granulométriques selon M.FAURY .....	61
Figure 54:Les étapes de malaxage.....	64
Figure 55:l'essai d'affaissement.....	64
Figure 56:La table vibrant et les moules pour éprouvette de 7x7x7 cm <sup>3</sup> . ....	65
Figure 57:appareil de l'essai de résistance à la compression. ....	66
Figure 58: Essai de l'absorption.....	67
Figure 59: L'appareil pour la pesée hydraustatique. ....	67

#### **chapitre IV: Résultats et interprétations.**

Figure 60:La résistance en compression. ....	72
Figure 61:Evolution de la masse d'eau absorbée en fonction de la racine Carrée du temps des bétons. ....	74
Figure 62:Evolution de la masse d'eau absorbée en fonction de la racine Carrée du temps des bétons. ....	74
Figure 63:Evolution de la masse d'eau absorbée en fonction de la racine Carrée du temps des bétons. ....	75
Figure 64:Evolution de la masse d'eau absorbée en fonction de la racine Carrée du temps des bétons. ....	75
Figure 65:évolution de la porosité accessible d'eau de béton témoin1 en fonction du temps. 77	

## *Liste des tableaux*

### **Chapitre I : Généralités sur le béton .**

Tableau 1:Les effets des défèrent nature d'adjuvant .[8].....	10
Tableau 2:Les avantages et les inconvénients du béton. [21] .....	23

### **chapitre II: Généralités sur le béton polymère.**

Tableau 3:Les types de polyéthylène. [33].....	34
Tableau 4:Comparaison entre béton polymère et ordinaire. [40].....	37

### **chapitre III: matériaux utilisés et méthodes d'essais.**

Tableau 5:Composition chimique du ciment CPJ CEMII /A 42.5.....	44
Tableau 6:Composition minéralogique du CPJ CEM II / A 42.5 .....	44
Tableau 7:Caractéristiques physiques du ciment CPJ CEMII/A42.5.....	45
Tableau 8:Caractéristiques mécaniques du ciment utilisé.....	45
Tableau 9:Analyses chimiques du sable de mer [LTPO]. .....	46
Tableau 10:Essai d'équivalent de sable [LTPO]. .....	47
Tableau 11:Analyse de granulats. ....	48
Tableau 12:Analyse chimique de l'eau. ....	49
Tableau 13:résultats de l'analyse granulométrique de gravier 3/8. ....	50
Tableau 14:les propriétés chimiques et physique d'adjuvant.....	51
Tableau 15:les propriétés du polypropylène et polyéthylène. ....	53
Tableau 16:Résultats de l'essai masse volumiques apparentes.....	55
Tableau 17: Résultats de l'essai masse volumiques absolue.....	57
Tableau 18:les Résultats de l'essai la teneur en eau.....	58
Tableau 19:les résultats de l'essai de foisonnement .....	59
Tableau 20:les paramètres de formulations à partir du méthode de faury. ....	60
Tableau 21: La formulation de béton polymère a base des fibres (1m <sup>3</sup> ).....	62
Tableau 22:la formulation de béton polymère a base des fibres (7*7*7 cm <sup>3</sup> ). ....	63
Tableau 23:Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.....	65
Tableau 24:les résultats de consistance des différents gâchés utilisés. ....	65
Tableau 25:pour chaque type des essais effectués, le nombre des éprouvettes préparés en béton que nous avons testés dans cette étude expérimentale à des différents âges.....	68

## *Introduction générale*

Les matériaux innovants ont créé une compétition dans tous les domaines de l'industrie tels que le transport aéronautique, l'industrie automobile et surtout dans la construction. Le béton polymère, fabriqué avec des matériaux composites consolidés par des renforts synthétique, est caractérisé par un bon comportement mécanique par rapport au béton traditionnel.

Le béton polymère qui est un matériau composite dont le liant est constitué entièrement d'un polymère organique commence à prendre place dans le marché des matériaux de construction de grande diffusion.

De façon générale, le béton polymère est obtenu en mélangeant à la charge, un polymère, (agent de réticulation) et un catalyseur. Différents produits peuvent aussi être ajoutés à la résine pour améliorer ses caractéristiques mécaniques et physiques, faciliter sa mise en œuvre ou simplement pour en diminuer le coût. Des agents de pontage à base de adjuvant sont parfois utilisés pour augmenter la cohésion la matrice de polymère .

Le but de cette étude est d'évaluer le polymère, qui est du polypropylène et du polyéthylène, ajoutés au béton. Son objectif principal est d'évaluer l'effet de différents types de polymères.

Nos travaux de recherche ont également été l'occasion de comparer les résultats mécaniques obtenus et la durabilité du béton par l'étude d'un indicateur majeur de la durabilité qui est la porosité accessible à l'eau .

### **Structure du mémoire :**

Le présent mémoire sera organisé sous forme de quatre chapitres. Ils décrivent les matériaux et les méthodes utilisées dans cette étude, le choix des matériaux, une description détaillée de la préparation, les méthodes d'essai et les résultats obtenus. Ces derniers seront présentés et discutés dans le dernier chapitre. Enfin une conclusion générale qui peut être tirée de cette recherche.

L'organisation de notre mémoire est la suivant :

Dans le premier chapitre de ce mémoire, nous apportons une connaissance des matériaux composites, puis nous présentons les différents constituants des composites ainsi que le procédés de fabrication de ces matériaux.

Dans le deuxième chapitre, une étude bibliographique sur le béton polymère des points de vue caractéristiques, et ses utilisations.

Le troisième chapitre, est une étude expérimentale présentant les différents tests sur les matériaux utilisés la formulation de béton polymère, et les essais mécaniques, réalisée sur le béton.

Le quatrième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus avec des discussions.

Enfin une conclusion générale et quelques perspectives pour des travaux futur.

***CHAPITRE I:***

***GÉNÉRALITÉ SUR LE BÉTON***

## 1. Introduction :

Dans le langage courant, le terme « béton » fait référence au « béton de ciment » car il s'agit du béton le plus courant, composé de ciment et d'un agrégat de sable et de gravier. Mais, en réalité, le terme « béton » désigne tout mélange utilisé pour réaliser des structures porteuses. Le béton peut donc aussi bien être de terre, de chaux ou bitumineux par exemple.

La diffusion rapide du béton et sa large utilisation lui permettent de toucher tous les domaines où il est arrivé. Plus de quatre milliards de mètres cubes de béton sont coulés chaque année dans le monde. Où il peut être utilisé dans la construction des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des tunnels, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires .....

Le béton est un matériau qui résiste mieux à la compression qu'à la traction. C'est donc la compression qui va définir sa résistance, définie comme la contrainte maximale en compression du béton. Elle est symbolisée par le sigle  $f_c$  et exprimée en MPa. La résistance du béton est évaluée après 28 jours d'âge, délai qui lui permet généralement d'atteindre 90% de sa résistance.

L'utilisation de matériaux de construction dépend des critères techniques et économiques ; Parmi les critères de base la résistance mécanique et la durabilité du matériau, La grande disponibilité des matières premières et des prix bas. Et parmi les caractéristique du béton : il peut être moulé sous toutes formes, couleurs et motifs. Résistance à la traction élevée en cas de béton armé, Très bonne résistance au feu, excellente isolation aux bruits aux vibration et à la chaleur, sûreté et sécurité, ne rouille pas et ne pourrit pas .

Il est tout simplement le matériau de construction le plus polyvalent sur terre.

## 2. Historique de béton :

Les Romains de l'Antiquité savaient faire du béton. Ils avaient découvert que, pour fabriquer un liant hydraulique qui fasse prise sous l'eau, il fallait mélanger à de la chaux des déchets de fabrication des tuiles et des briques ou des cendres volcaniques (provenant notamment de Pozzuoli, dans la baie de Naples, qui donna son nom à la pouzzolane, roche volcanique). Cette connaissance leur a, par exemple, permis de construire des ports protégés par des jetées en béton qui faisait prise sous l'eau, contrairement à la chaux (Vitruve, De l'architecture). Leur savoir s'est ensuite perdu au Moyen Âge. C'est la mise au point et le développement de la

## Chapitre I : Généralités sur le béton

---

production des ciments artificiels modernes qui a permis l'essor de la construction actuelle en béton. [1]

Aux barques en béton (1848) de Joseph-Louis Lambton (1814-1887) et aux caisses à fleurs (1849) de Joseph Monier (1823-1906) succèdent les réalisations d'entrepreneurs qui développent des « systèmes » de béton armé : François Cosignait (1814-1888), qui met au point le béton aggloméré ; Monier, dont les brevets de 1877 et 1878 seront exploités en Allemagne ; François Hennebique (1842-1921), dont la société construira plus de 7 000 ouvrages, parmi lesquels le siège de cette dernière au 1, rue Danton (1900) à Paris et la villa de l'architecte à Bourg-la-Reine (1903) sont des exemples encore existants ; Armand Considère (1841-1914), qui invente le béton fretté (1901)... En 1906, cette première phase prend fin avec la publication des Instructions relatives à l'emploi du béton armé, véritable premier règlement français de calcul des structures en béton armé. Au XXe siècle, c'est l'invention du béton précontraint par Eugène Freyssinet (1879-1962) qui ouvrira de nouveaux horizons au matériau béton. La précontrainte, qui consiste à garder le béton dans un état comprimé grâce à des câbles en acier tendus, permet d'atteindre de grandes portées avec du béton et a trouvé, notamment, son application dans les ponts. Depuis lors, les progrès dans les sciences des matériaux ont permis d'améliorer encore de manière spectaculaire les propriétés des bétons. [1]

### 3. Définition du béton :

Le béton est un assemblage des matériaux appelées granulats, gros et fins (gravier ou pierre concassée, sable) et des liant (ciment et l'eau). dont les uns actifs et les autres inertes. Chaque substance a des caractéristiques qui dépendent de la formation de ce composant. Le mélange entre le ciment et l'eau forme une pâte qui durcit ; La pâte de ciment hydraté et le sable constituent le mortier ; Celui-ci à pour rôle de se lier avec les gros granulats pour former un conglomérat solide. On peut ajoute des adjuvants et addition pour modifier ses propriétés physiques et chimiques du mélange.

À notre époque L'utilisation du béton dans les constructions est très courante par Différents types et divers composants. [2]



Figure 1: Béton [3].

## 4. Les composants des bétons :

Le béton est un mélange dont la composition a une profonde influence sur ses caractéristiques; mais si les caractéristiques attendues sont la plupart du temps bien définies, la mise au point d'un béton approprié peut s'avérer plus délicate. L'obtention des caractéristiques requises pour le béton passe impérativement par l'adoption et l'optimisation de sa formulation aux exigences appropriées à l'ouvrage et à son environnement. [4]

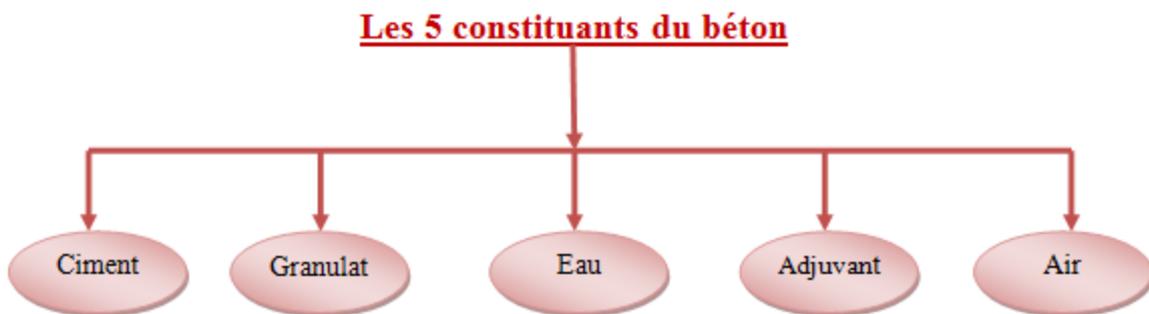


Figure 2: Les composants des bétons.

### 4.1. Le ciment :

Le ciment est une poudre métallique fine obtenue après un processus de fabrication très précis. Mélangez cette poudre avec de la pâte d'eau qui gèle et durcit, même sous l'eau. Il peut également être mélangé avec des agrégats afin d'obtenir du béton, car il s'agit d'un liant de béton. [4]



Figure 3: Différent type de ciment [4]

### 4.2. Les granulats :

On appelle granulats des matériaux pierreux de petites dimensions, produits par l'érosion ou le broyage mécanique (concassage) des roches. Ce sont des matériaux inertes entrant dans la composition des bétons et Mortiers ; Ils constituent le squelette du béton et ils représentent, environ 80 % du poids total du béton. Ils sont constitués de sables (Gros et Fin) et de gravier. Cependant, les granulats doivent satisfaire à certaines exigences de qualité pour qu'ils soient utilisés dans le béton. [4]

### 4.3. Classification des granulats :

On trie les granulats par dimension au moyen de tamis (mailles carrées) et de passoirs (trous circulaires) et on désigne une classe de granulats par un ou deux chiffres. Si un seul chiffre est donné, c'est celui du diamètre maximum  $D$  exprimé en mm; si l'on donne deux chiffres, le premier désigne le diamètre minimum  $d$ , des grains et le deuxième le diamètre maximum  $D$ . Un granulats est caractérisé du point de vue granulaire par sa classe  $d/D$ . Lorsque  $d$  est inférieur à 2mm, le granulats est désigné  $0/D$ . Il existe cinq classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes  $d$  et  $D$  des granulats rencontrées (Norme NFP18-10). [5]

Les fines :  $0/D$  avec  $D \leq 0,08$  mm.

Les sables :  $0/D$  avec  $D \leq 6,3$  mm.

Les gravillons :  $d/D$  avec  $d \geq 2$  mm et  $D \leq 31,5$  mm.

Les cailloux :  $d/D$  avec  $d \geq 20$  mm et  $D \leq 80$  mm.

Les graves :  $d/D$  avec  $d \geq 6,3$  mm et  $D \leq 80$  mm.

### ✚ Sable :

Le sable commun, constitué de grains de quartz, est formé par l'érosion des roches sous l'effet de l'eau, de la température et du vent puis est transporté par les fleuves ou les vents. Techniquement, il s'agit d'un matériau plus fin que le gravier mais plus épais que le limon. Il peut avoir différents aspects et être fin, épais.[6]



Figure 4:Sable [3]

### ✚ Gravillon :

Pour gravier est un sable grossier, du grave, mais techniquement, il s'agit de fragments et granulats de roche minérale dont le diamètre varie entre 0,2 et 7,5 cm. Le gravier est excavé depuis des ballastières. Du gravier décoratif est souvent employé en jardinage, en aménagement paysagère dans les vivariums (aquarium...). Le gravier est un élément constitutif d'une roche détritique dont le diamètre varie suivant les classifications. Voir granulométrie. Un gravier peut être considéré comme un petit galet. Un mètre cube de gravier pèse habituellement environ 1800 kg. Le gravier est utilisé comme agrégat dans la fabrication du béton. [6]



Figure 5:Gravier. [3]

### 4.4. Léau de gâchage :

L'eau de gâchage est un élément essentiel pour la fabrication du béton . Elle est ajoutée lors du mélange afin d'hydrater le ciment et permet de lier les constituants du béton entre eux. L'eau rend également le mélange bien plus maniable, ce qui facilite l'application du béton. Elément indispensable pour obtenir du béton, l'eau utilisée doit absolument être propre et ne doit pas être ajoutée avec excès. Si ces deux conditions ne sont pas respectées, votre béton risque d'être fragile et ses performances seront altérées.[7]



Figure 6:L'eau de gâchage. [3]

### 4.5. Adjuvant :

Pour matériaux cimentaires sont des produits chimiques ajoutés aux matériaux cimentaires tel que les coulis, les mortiers de ciment et les bétons de ciment pour modifier leurs propriétés à l'état frais ou à l'état durci. Les ajouts de ces adjuvants, réalisés lors du malaxage, sont le plus souvent inférieurs à 5 % en masse de ciment. [8]



Figure 7:Les adjuvants [3]

## Chapitre I : Généralités sur le béton

### ✚ Les adjuvants sont classés en fonction de leurs effets :

Tableau 1: Les effets des différents nature d'adjuvant. [8]

Nature	Effets
<b>Prise et durcissement</b>	<p>Accélérateur de prise : diminue le temps de prise du béton.</p> <p>Accélérateur de durcissement : accélère le temps de durcissement du béton.</p> <p>Retardateur de prise : ralentit le temps de prise du béton sans l'altérer.</p>
<b>Ouvrabilité du béton</b>	<p>Plastifiant : améliore la maniabilité du béton sans l'altérer.</p> <p>Plastifiant réducteur d'eau : réduit la teneur en eau dans le but d'augmenter la résistance du mélange, tout en ayant une bonne maniabilité.</p> <p>Super plastifiant :</p> <p>Fonction fluidifiant : (dosage en eau normal) améliore la maniabilité mais diminue la résistance.</p> <p>Fonction réducteur : (très faible dosage en eau) entraîne une forte réduction en eau dans le mélange tout en conservant une bonne maniabilité.</p>
<b>Modification de certaines propriétés</b>	<p>Entraîneur d'air : permet la formation de petites bulles d'air réparties de manière homogène. Ce qui augmente la maniabilité et la résistance au gel du béton à l'état solide.</p> <p>Hydrofuge : améliore l'imperméabilité du béton en obturant les pores.</p> <p>Les pigments : offrent la possibilité de modifier la couleur du béton.</p>
<b>Les produits de cure</b>	<p>Produits appliqués à la surface du béton frais, ils ont pour rôle de protéger le béton contre d'éventuels risques de dessiccation.</p>

### 5. Les différents types de béton :

Avec les nouveaux moyens technologiques, la famille des bétons est en constante évolution. Le béton est un matériau dont la composition peut évoluer. On peut adapter son dosage et ses constituants en fonction des performances recherchées. En répondant aux normes de sécurité et s'adaptant aux envies des hommes, le béton, sous ses différentes formes, répond à nos besoins.

#### 5.1 Béton léger :

Le béton léger est un matériau composite constitué de différents éléments allégés, d'où son nom. Cette particularité permet une utilisation plus facile contrairement au béton lourd. Mais attention, le béton léger ne convient pas à tous les travaux. Ce matériau est utilisé particulièrement pour la création de combles, la rénovation de plancher ou pour une isolation thermique et phonique.[9]



Figure 8: Béton léger [3]

#### ✚ Quels sont ses caractéristiques ? [10]

- Une bonne qualité d'isolation thermique et phonique.
- Une faible masse volumique.
- Une adaptation aux combles.
- Une facilité de pompe sur les hauteurs et les distances.
- Une compatibilité à tout type de sol.
- Une forte maniabilité.
- Des propriétés thermiques en lien avec la densité du béton.
- Une mise en place aisée et rapide.

# Chapitre I : Généralités sur le béton

---

- Il montre une forte densité qui varie entre  $300 \text{ kg/m}^3$  et  $1800 \text{ kg/m}^3$ .

## Pour quelles applications? [9]

- Le béton léger est utilisé pour des travaux bien précis tels que :
- certaines fondations dont la structure demande une charge moins élevée.
- les rénovations ou remise à niveau de planchers avant la chape ce qui permet de ne pas renforcer au préalable la structure.
- l'isolation : le béton léger a comme particularité d'être à la fois un bon isolant thermique et phonique. De ce fait, il est très utilisé lors de la conception de mur ou de dalle.
- La conception d'une chape sèche ou d'une dalle isolante sur un sol.
- le remplissage des cloisons.

## 5.2 Le béton armé :

La majorité du béton produit est employé en association avec des armatures en acier. Ce matériau est appelé béton armé (BA).

Le béton possède une grande résistance à la compression et une résistance moindre à la traction. L'acier par contre, possède de grandes performances en traction. Dans le béton armé, chaque constituant joue son rôle au mieux de ses performances. La mise en place d'armatures (de renforcement), dans les parties soumises à la traction d'un ouvrage en béton permet de lui conférer des résistances mécaniques. [11]



Figure 9: Le béton armé.[3]

## Quels sont ses caractéristiques ? [11]

- Résistance à la compression et à la traction.
- Facile à manipuler et à mettre en place.
- Résistance au feu.
- Solidité et durabilité.

## Chapitre I : Généralités sur le béton

---

- Il doit y avoir une réelle cohésion entre le béton et l'acier.
- L'acier doit être pourvu d'aspérités à sa surface afin de renforcer l'adhérence entre les deux matériaux.

### ✚ Pour quelles applications ? [11]

Le béton armé est utilisé pour les ouvrages demandant une résistance élevée à la traction :

- *Dalles* : Les dalles en béton armé sont souvent constituées de treillis soudés déposés dans la partie inférieure de la dalle.
- *Poteaux* : Les poteaux sont armés par des armatures transversales et longitudinales installées afin de stabiliser la structure.
- *Poutres* : Les poutres sont renforcées par des armatures longitudinales ayant pour but de redonner au béton sa forme initiale après un effort de traction.
- *Voiles* : Fondations.

### 5.3 Le béton précontraint :

Le béton précontraint est un béton dans lequel sont introduits des barres en acier. Le but du précontraint est d'obtenir des pièces qui ne travailleront qu'à la compression. Ces aciers vont servir à précontraint le béton, c'est-à-dire lui imposer des contraintes à l'inverse de celles qu'ils risquent d'avoir lors de sa mise en service. En lui appliquant ces forces « contraires », le béton est beaucoup plus performant et peut donc recevoir de plus grosses charges sans conduire à la ruine. [12]



Figure 10:Le béton précontraint. [3]

Il existe deux méthodes de béton précontraint :

- **La post-tension** : les aciers sont tendus lorsque le béton a durci.
- **La pré-tension** : les aciers sont tendus lorsque le béton est encore frais.

### ✚ Quels sont ses caractéristiques ? [12]

- Une résistance plus élevée, apportant un effort de compression interne compensant l'effort de traction produit par les charges des éléments structurels.
- Plus grande capacité de la structure à supporter les charges, impacts, vibrations et coups, tout en réduisant au minimum la possibilité de corrosion de l'acier, augmentant ainsi la durabilité de la construction.
- Permet de ménager de grandes lumières dans la construction grâce à la longueur des pièces, tout en permettant des économies de matériau et en apportant de la légèreté.

### ✚ Pour quelles applications ? [12]

Il sert à la fabrication de :

- poutre, de poutrelle, ouvrages d'art.
- des ponts de plusieurs kilomètres de long.
- il est posé dans les bâtiments (hourdis et planchers).
- sur la voirie (poteaux d'éclairage public).

#### 5.4 Le béton Haute Performance (BHP) :

Le béton haut performance est un béton plus compact. Sa réputation est d'être très résistant à la compression et d'avoir une excellente durabilité. A l'état frais, sa viscosité en fait un béton qui se manœuvre très facilement. Il est donc facile à mettre en place grâce à sa fluidité. Pour obtenir ces performances, on va réduire sa porosité. En ajoutant des super plastifiants (teneur en eau réduite) et des particules ultrafines comme par exemple de la fumée de silice. Ces bétons sont perméables, résistants aux agressions chimiques et au cycle gel/dégel.[13]



Figure 11: Béton haut performance.[3]

### ✚ Quels sont ses caractéristiques ? [13]

- Une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 50 MPa.
- Un rapport Eau efficace/liant équivalent inférieur à 0,4.
- Ils présentent une structure très dense.
- une faible porosité et une très bonne résistance à la pénétration d'agents agressifs.
- Il est très résistant et peut donc être utilisé pour des constructions solides.
- Il n'est pas sensible au cycle de gel et dégel et se fissure donc plus difficilement.
- Il est facile à mettre en place.
- C'est un matériau très durable.

### ✚ Pour quelles applications ? [13]

- Ponts routiers.
- Tunnels et Travaux Souterrains.
- Préfabrication.
- Ouvrage en site maritime.

### 5.5 Le béton auto-plaçant :

Le béton auto-plaçant (BAP) ou le béton auto-nivelant (BAN) est un béton caractérisé par une grande fluidité. Grâce à l'ajout d'adjuvants super plastifiants, il est fluide, homogène, stable et il peut être mis en place sans système de vibration. [14]



Figure 12:Le béton auto-plaçant [3]

### ✚ Quels sont ses caractéristiques ? [14]

- Absence de vibration pour sa mise en place.
- Diminution de la pénibilité du travail et suppression de l'apparition du syndrome du vibreur.
- Rendements améliorés et exécution plus rapide.
- Réduction des nuisances sonores durant l'exécution.
- Liberté accrue des formes de coffrage.

- Béton de qualité et surface plane et régulière.
- Facilité de bétonnage des formes complexes.

### Pour quelles applications ? [14]

- des densités de ferrailage importantes.
- des formes et des géométries complexes.
- des voiles minces et de grande hauteur.
- des voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- des exigences particulières au niveau de l'architecture et de la qualité des parements.
- des accès difficiles voire impossibles pour le déversement du béton dans le coffrage et pour assurer la vibration.

### 5.6 Béton projeté :

Le béton projeté, ou gunite, est un béton propulsé, après malaxage, sur un support sous forme de jet. Il permet de réaliser les formes les plus complexes ou difficiles d'accès.

La technique du béton projeté fait appel à une machine capable de projeter via un tuyau et une buse du béton semi-liquide non pas dans un contenant, mais sur un support libre. En général, on enduit un ferrailage de la même manière qu'une machine à crépir.

Cette technique autorise donc toutes les formes complexes, notamment les arrondis de piscines, murets, bassins, et dans toutes les positions possibles jusqu'aux voûtes et plafonds.

[15]



Figure 13: Béton projeté.[3]

### Quels sont ses caractéristiques ? [15]

- Ce qui est pratique, c'est que la technique de projection permet de créer de multiples formes (quasi illimitées); tout en offrant une bonne résistance et durabilité. De plus, il autorise la pose des divers revêtements (carrelage, enduit..).

- Vitesse d'exécution : une équipe correctement formée peut projeter jusqu'à 10 m<sup>3</sup> par heure (soit 100 m<sup>2</sup> sur 10 centimètres d'épaisseur).
- Coffrage limité : la technique du béton projeté ne nécessite pas de coffrage autre que celui sur lequel elle est projeté, la ou le béton coulé l'est forcément dans un coffrage fond + murs.
- Chantier à accès difficiles : bien que le convoi 'compresseur + camion toupie' nécessite environ 40 mètres, la technique du béton projeté permet à un opérateur seul d'appliquer le béton dans un endroit étroit grâce au tuyau flexible.

### Pour quelles applications ? [15]

- Il permet de réaliser les formes les plus complexes (dômes, coques, etc.) ou difficiles d'accès (tunnels, travaux acrobatiques, etc.).
- En travaux souterrains, en réparation provisoire en tant que membrane de protection ou de soutènement ou en revêtement définitif dans un rôle structurel.
- En protections de talus et blindages de fouilles.
- En techniques de réparation de parois de béton ordinaires présentant des désordres de surface.
- En réfection de parois de béton endommagées par des incendies .
- En techniques de renforcement ou de reprise de structures neuves présentant des défauts de conception.
- Pour la construction d'ouvrages en béton de forme libre.
- Pour la construction de piscines en béton armé.

### 5.7 Béton coloré :

Encore appelé béton teinte, le béton coloré est un type particulier de béton utilisé en maçonnerie. Il est prisé pour son côté original qui permet de rehausser la décoration et l'esthétique des maisons, grâce à une palette de couleurs presque illimitées. Les sols et les murs se voient aménagés d'une nouvelle façon, plus personnalisée, plus prodigieuse, permettant ainsi d'obtenir une meilleure allure et un nouveau style aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de la maison.

En fonction du choix du ciment et des goûts de chacun, le béton coloré est obtenu de manière spécifique et avantages qui font de lui un matériau indétronable.[16]



Figure 14: Béton coloré [3]

### **Quels sont ses caractéristiques ? [16]**

- Le béton coloré présente un bon nombre de particularités qui font de lui un matériau d'exception.
- On peut citer à ce titre sa capacité à adopter facilement n'importe quelle couleur, et ce, dans une palette illimitée de tons et de teintes.
- Avec comme extrêmes le noir et le blanc, vous pouvez obtenir la coloration que vous désirez telle que le rouge, la verte amande, le chamois, le bleu ardoise et bien d'autres.
- Le béton coloré s'adapte à tous les styles de décoration, permettant ainsi de customiser aussi bien l'intérieur que l'extérieur de la maison.
- Tous les types de surface sont compatibles avec le béton teinté qui, grâce à un traitement particulier, peut se présenter sous diverses formes.
- On retrouve alors le béton imprimé, le béton balayé, drainant ou encore lissé, selon que l'on veuille obtenir une certaine rugosité ou donner du relief.
- Afin de rendre plus confortable l'expérience des piétons et plus facile l'utilisation des handicapés, il est souvent recommandé d'opter pour les techniques de balayage ou de talochage.

### **Pour quelles applications ? [16]**

- Selon la méthode de fabrication, le béton coloré peut être utilisé dans l'aménagement des sols de la plupart des pièces de la maison.
- Il peut également intervenir dans la réalisation des allées de jardins, des terrasses, des plages de piscines, des descentes de garage et même sur les terrasses.
- Il mettra ainsi ces surfaces en valeur tout en leur permettant de tenir durant de longues années.

### 5.8 Le béton ciré :

Tout d'abord, il faut savoir que le vrai béton ciré est à l'origine un revêtement utilisé dans les locaux commerciaux et dans l'industrie. Il se compose d'un mélange de cailloux, de sable, de ciment, d'eau et d'additifs. Le tout est ciré après séchage. Très épais, sa mise en œuvre demande au minimum 8 cm d'épaisseur, ce qui ne permet pas son utilisation en phase de réfection. Pour utiliser cette technique, il faut donc l'envisager dès la conception car dans le cas contraire, aucune porte ne pourrait fermer.[17]



Figure 15: Béton ciré. [3]

#### ✚ Quels sont ses caractéristiques ? [17]

Le béton ciré permet de personnaliser un intérieur contemporain.

- Il s'applique sur tous les supports (chape, dalle, carrelage) à condition qu'ils soient solides et sains.
- Il offre une très bonne résistance à l'usure et aux rayures, à condition de respecter une mise en œuvre minutieuse.
- Il présente peu de joints, donc peu d'encrassement.
- Le béton ciré est hygiénique et s'entretient facilement. Un nettoyage à l'eau savonneuse avec une serpillière suffit.

#### ✚ Pour quelles applications ? [17]

- Une pièce idéale car le béton ciré est étanche, naturellement résistant à l'humidité et facile d'entretien.
- Ces bétons cirés de décoration, conviennent pour tous les sols soumis à des sollicitudes importantes.

- Sols de magasins, théâtres, églises, restaurants, hôtels, hammams, pistes de discothèques, ensemble de bureaux...
- De fait, les sols d'habitation, d'usage moins intensif, sont concernés par le béton ciré.
- Du garage à la pièce d'eau, de la chambre à la cuisine, il s'adapte à toute contrainte.

### 5.9 Le béton lourd :

Comme son appellation l'indique, affiche une masse volumique plus importante que le béton classique. C'est un produit composé de granulats très dense et possédant une viscosité plus élevée. On y fait appel dans des situations bien précises, pour des coulées de pont, pour des lests ou contrepoids ou encore pour assurer la protection contre les radiations. [18]



Figure 16: Béton lourd.[3]

#### ✚ Quels sont ses caractéristiques ? [18]

Ce béton est sollicité pour protéger des radiations dangereuses qui sont libérées dans les centrales ou dans les systèmes d'accélération de particules.

- Il offre notamment une barrière efficace contre les rayons X, les rayons Gamma et autres émanations radioactives.
- Utilisé pour réaliser des contrepoids, que ce soit pour des lests ou pour des systèmes basculants.

#### ✚ Pour quelles applications ? [18]

Le béton lourd est principalement utilisé pour réaliser des contrepoids, que ce soit pour des lests ou pour des systèmes basculants. Avec l'émergence du secteur nucléaire.

- Ce béton est aussi sollicité pour protéger des radiations dangereuses qui sont libérées dans les centrales ou dans les systèmes d'accélération de particules.

- Il offre notamment une barrière efficace contre les rayons X, les rayons Gamma et autres émanations radioactives.

### 5.10 Béton décoratifs :

Béton décoratif habille particulièrement bien les sols de vos espaces intérieurs ainsi que les sols des espaces extérieurs. Ce type de revêtement de sol est très en vogue chez les particuliers ou dans les entreprises et industries. Généralement, on retrouve 3 grands types de béton décoratif : le béton lisse, le béton désactivé et le béton imprimé. Leur conception technique et esthétique les destinent parfaitement pour les sols de terrasses, les cabines de douche, les salles de réception, les espaces aquatiques ou pour les grandes surfaces de type commerciale. Son emploi est presque sans limite. [19]



Figure 17:Le béton décoratif .[3]

#### ✚ Quels sont ses caractéristiques ? [19]

- offre un effet visuel harmonieux.
- offre des possibilités de personnalisation.
- est un véritable absorbant de l'eau.
- offre des surfaces 8 à 10 fois plus solides que les bétons traditionnels.
- est réalisable sur une chape de béton qui existe déjà.
- se pose très facilement (jusqu'à 80 m<sup>2</sup> en une journée).
- résiste à la poussière, aux grosses taches et aux moisissures.
- empêche la pousse des mauvaises herbes dans un jardin.

#### ✚ Pour quelles applications ? [19]

- S'adapte généralement à tous les usages en intérieur comme en extérieur.
- Créer des terrasses, des pistes cyclables, des trottoirs, etc.
- Personnaliser les allées de jardins et les sorties de garage.

- Créer de magnifiques abords de piscines.
- Réaliser des travaux de rénovation en cuisine, en salle de bain, dans la chambre.

### 5.11 Béton bitumineux :

Egalement appelé enrobé ou enrobé bitumineux, le béton bitumineux est composé de sable, de gravillons, de filer et de bitume comme liant. Ce type de béton est principalement utilisé pour les routes, mais il peut être idéal pour une allée de jardin ou de garage.[20]



Figure 18: Béton bitumineux. [3]

#### ✚ Quels sont ses caractéristiques ? [20]

- Couches allant de 5 à 10 cm.
- Empêche les problèmes d'ornièrè.
- Résistance élevée face aux efforts.
- Excellente adhérence.
- Imperméabilise la chaussée.
- Excellente adhérence.
- Baisse significative du bruit de roulement.
- Excellente adhérence par temps de pluie.
- Le bitume utilisé peut se ramollir si la chaleur est trop forte ;
- Le béton peut durcir par trop basses températures ;
- La pluie ou la neige tassée sont également des critères à prendre en compte, car le BB peut geler et favoriser la formation de verglas.

#### ✚ Pour quelles applications ? [20]

- Utilisation fréquente en trafic réduit.
- Utilisation fréquente pour routes nationales.

## Chapitre I : Généralités sur le béton

- Utilisation fréquente pour : Autoroute, Voies express, etc.
- Chaussée à trafic important et rapide.
- Utilisation pour revêtement urbain.

Tableau 2:Les avantages et les inconvénients du béton. [21]

Les avantages	Les inconvénients
<p>Le béton fait partie si intégrante de nos collectivités parce qu'il est le seul matériau capable de produire de façon économique les avantages suivants :</p> <p>plus faible empreinte carbone sur le cycle de vie d'une structure.</p> <p>résistance, durabilité, longévité et résilience sans égal.</p> <p>efficacité énergétique maximisée grâce à sa masse thermique.</p> <p>durabilité dans tout environnement.</p> <p>un matériau de construction qui ne brûle pas, ne rouille pas ou ne pourrit pas.</p> <p>sûreté et sécurité.</p> <p>versatilité — il peut être moulé sous toutes formes, couleurs et motifs imaginables.</p> <p>n'émet pas de gaz.</p> <p>excellente isolation aux vibrations et aux sons.</p> <p>Associé à des armatures en acier, il acquiert les propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités immenses (béton armé ; béton précontraint).</p>	<p>Son poids propre élevé (densité de 2.4 environ peut être réduite à 1.8 dans le cas des bétons légers de structure et à moins de dans le cas de béton léger d'isolation).</p> <p>Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux).</p> <p>Le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage.</p>

### **6. Conclusion :**

Le béton est l'un des matériaux de construction les plus utilisés dans le monde, il fait partie de notre cadre de vie. Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surfaces et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect. Il a mérité sa place par ces performances, sa souplesse d'emploi ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton est un matériau très en demande et son utilisation ne cessera de croître au cours des années à venir. Afin d'assurer la croissance de ce matériau de construction indispensable, l'approche du développement durable doit être intégrée à la production du ciment et du béton. Cette approche consiste à optimiser l'utilisation des ajouts cimentaires des résidus industriels, afin de remplacer le ciment dans le béton, et d'utiliser les matériaux recyclés pour la réalisation des bétons, ce qui permettra d'augmenter la production de ce dernier à un coût compétitif, et protéger la nature des stocks grandissants des résidus industriels.

***CHAPITRE II:***

***GÉNÉRALITÉ SUR BÉTON POLYMÈRE***

### 1. Introduction :

Le béton polymère (BP) est un matériau fabriqué en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère. La recherche et le développement des bétons et mortiers polymères ont connu un grand essor dans différents pays occidentaux depuis les années 1980, Comme le remplacement du ciment Portland par un polymère entraîne une augmentation sensible du coût du béton, il ne faudrait le faire que si l'on recherche des caractéristiques supérieures, si le coût de la main d'œuvre est moins élevé ou si les besoins en énergie lors de la fabrication et de la mise en œuvre sont moindres. Actuellement, le BP est utilisé très efficacement de par sa résistance élevée et sa légèreté, en éléments préfabriqués dans le bâtiment, pour les tabliers de pont, pour les conteneurs de déchets dangereux, pour bases de machines industrielles, pour la fabrication des carreaux de planchers en marbre synthétique et les panneaux d'escaliers, des plaques et panneaux de parements de diverses structures, d'appuis de fenêtre. [22]

Pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques et permettre une bonne durabilité des bétons de résine renforcés ou non tout en satisfaisant les exigences économiques qui se rapportent au coût du produit fini, plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'optimisation de la formulation du BP par la diminution de la fraction massique de la résine et/ou par le remplacement ou l'ajout d'une partie du squelette granulaire par d'autres composantes, conférant aux bétons des qualités meilleures en abaissant le prix du matériau du produit fini. [22].

### 2. Historique de polymère :

Les polymères appartiennent à une science qui a pris son essor dans les années 40, car pendant la guerre, il est apparu nécessaire de fabriquer certains matériaux qui manquaient alors.

Avant 1940, il y avait déjà eu des sursauts. Les premiers soubresauts de la chimie des polymères sont apparus dès les années 1900.

A cette époque, on distinguait les molécules organiques en deux catégories:

- Les cristalloïdes.
- Les colloïdes.

Les cristalloïdes sont des composés organiques cristallisables, de température de fusion et de masses molaires définies.

## Chapitre II : Généralités sur béton polymère

Les colloïdes sont des molécules visqueuses, ne cristallisant pas et ayant des températures de fusion mal définies. Lorsque l'on mesurait leur masse molaire, on la trouvait supérieure à 100 000. Cela renforçait l'idée que ces molécules étaient des agrégats. Les chimistes allemands appelaient cette chimie la chimie des saletés (« Schmutz en Chemie »).

En 1925, Staudinger déclare que les colloïdes sont une association de plus de 100 000 atomes de carbones reliés entre eux par des liaisons covalentes. A l'époque, c'est une hérésie. (Théorie de la chimie moléculaire), Dans le début des années 1950, Carothers et Flory admettent et montrent que des édifices covalents de masse molaire supérieure à 100 000 existent. [23]

### 3. Définition de polymère :

Un polymère est une macromolécule formée de l'enchaînement covalent d'un très grand nombre d'unités de répétition qui dérivent d'un ou de plusieurs monomères (qui sont également appelés motifs) et préparée à partir de molécules appelées monomères. La figure (I-1) montre un exemple d'un polymère vinylique, l'un des plus importantes classes des polymères industrielles. Dans l'unité de répétition, X est l'un des unités monofonctionnelles comme H, CH<sub>3</sub>, Cl, et C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>. [24]



Figure 19: Polymère [3]

### 4. Structures et propriétés de polymère :

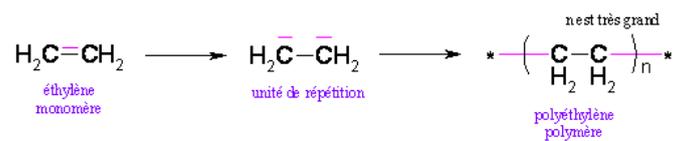
Les polymères présentent des caractéristiques mécaniques propres. Ils présentent un comportement vitreux lorsqu'ils sont amorphes, des caractéristiques de fibres lorsqu'ils sont cristallisés mais également un comportement visco-élastique (voir chapitre propriétés physiques, rhéologie).

Ces différents états dépendent principalement de la nature chimique du polymère et de la température. La nature chimique des macromolécules est liée à leur origine qui est soit naturelle, soit synthétique.

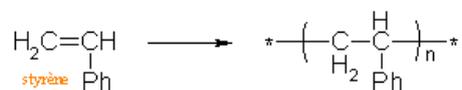
## Chapitre II : Généralités sur béton polymère

Leur structure, leur masse moléculaire, leur caractère linéaire ramifié ou non, réticulé ou non déterminent fortement leurs propriétés physico-chimiques. Le paradoxe des macromolécules est que des chaînes très différentes par leur composition chimique peuvent avoir des propriétés physiques analogues. Certains polyesters ou silicones présentent des propriétés viscoélastiques analogues à certains hydrocarbures insaturés. À l'inverse, des polymères à chaînes chimiquement identiques peuvent avoir des propriétés physiques totalement différentes. Un même composé peut être hautement élastique ou complètement amorphe en fonction de la température et de l'arrangement macromoléculaire. [25]

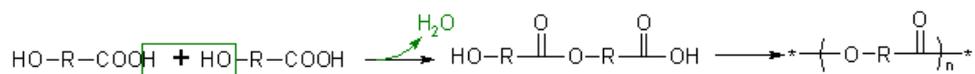
**Exemple :** [26]



-CH<sub>2</sub>-CH<sub>2</sub>- est l'unité du polymère.



Tout monomère comporte au minimum deux sites réactifs. La polymérisation sur la double liaison du monomère correspond à l'ouverture de la double liaison.



Il n'y a pas que des doubles liaisons qui forment des polymères .

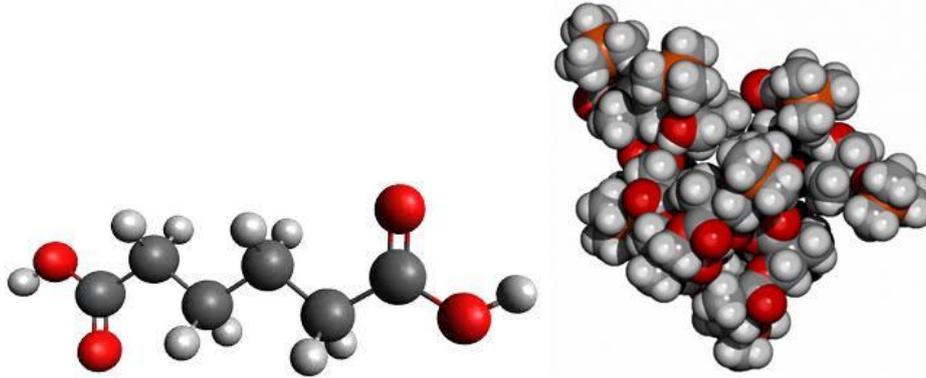


Figure 20: Polymérisation. [27]

### 5. Applications des polymères:

Les polymères sont devenus l'élément essentiel d'un nombre très important d'objets usuels et courants, dans lesquels, ils ont souvent remplacé les substances naturelles.

Les cinq familles les plus utilisées sont:

- Les polychlorures de vinyle (PVC) : utilisés comme pièces rigides, tuyauterie, films d'étanchéité .
- Les polyéthylènes (PE) : utilisé comme emballages transparents, pièces rigides
- Les polypropylènes (PP) et les polystyrènes (PS) : pièces rigides, fibres;
- Les polyesters saturés: cosmétiques, revêtements de surface, peintures, vernis, plastifiants pour autres polymères; et les polyesters insaturés: films, fibres textiles, matériaux composites .
- les polyuréthanes (PU) : Citons également les élastomères, qui proviennent pour certains de ces différentes familles et ou du caoutchouc naturel, et dont la principale utilisation se trouve dans le domaine des pneumatiques. [28]

### 6. Les type de polymère qui sont utilisés :

#### 6.1 Fibres de polypropylène :

##### 6.1.1. Historique :

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille des polyoléfines. Il est fabriqué depuis 1954 pour industrie textile. Il a connu une extension croissante dans ce domaine où il apporte les avantages suivant : bonne résistance à la traction qui atteindrent 800 MPA déformabilité élevées. Ces fibres sont obtenues suivant le processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des propriétés mécaniques élevées. L'ajout de fibres de polypropylène au mortier et au béton remonte à 1960, mais ce n'est qu'à partir de 1967 qu'apparaissent des réalisations intéressantes notamment en Grande Bretagne, ces fibres ont été utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de panneaux décoratifs, ainsi que l'élaboration de revêtement de façades dans plusieurs constructions et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux. [29]

##### 6.1.2. Définition :

Le polypropylène (ou polypropène) PP est de formule chimique :

$(-\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)-)_n$ , est un polymère thermoplastique semi-cristallin de grande consommation. Le polypropylène est une polyoléfine résultant de la polymérisation des monomères propylènes  $[(\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_3)]$  en présence de catalyseurs suivant principalement le procédé Ziegler-Natta [30].



Figure 21:Schéma représentatif de la réaction de polymérisation du polypropylène. [31]



Figure 22: Polypropylène.

### 6.1.3. Structures de polypropylènes :

Les polypropylènes existent sous les trois formes suivantes qui dépendent de la disposition des groupes méthyle par rapport au plan contenant la chaîne carbonée principale [31] :

Polypropylène iso tactique (iPP) :

Les groupes méthyles sont répartis du même coté du plan; une macromolécule d'iPP est essentiellement constituée de diades méso [31].

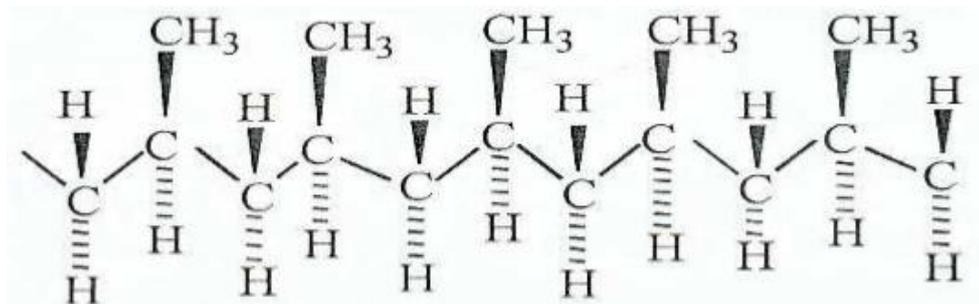


Figure 23:Schéma représentatif du polypropylène iso tactique.

Polypropylène syndiotactique (sPP) :

Les groupes méthyle sont disposés alternativement de part et d'autre du plan; une macromolécule de sPP est essentiellement constitué de diades racemo[32].

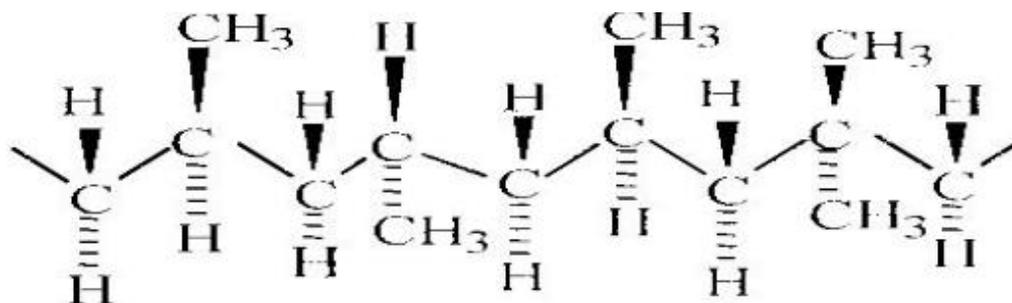


Figure 24:Schéma représentatif du polypropylène syndiotactique

## Chapitre II : Généralités sur béton polymère

Polypropylène atactique (aPP) :

Dans ce cas, la répartition des groupes méthyles et aléatoire [31].

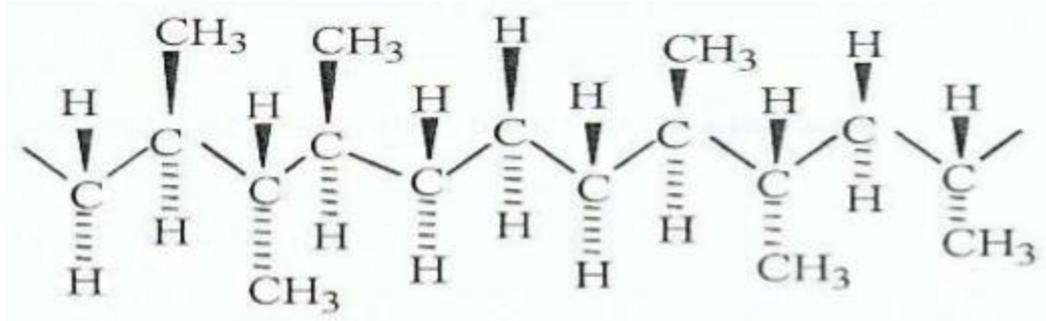


Figure 25:Schéma représentatif du polypropylène atactique .

**Avantages et Inconvénients:** [31]

Avantages:	Inconvénients :
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Il est bon marché ;</li> <li>-Alimentaire (inodore et non toxique) ;</li> <li>-Indéchirable ;</li> <li>-Très résistant à la fatigue et à la flexion (fabrication de charnières) ;</li> <li>-Très peu dense par rapport au PE;</li> <li>-Chimiquement inerte ;</li> <li>-Stérile sable et recyclable ;</li> <li>-Un excellent isolant électrique .</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Fragile (cassant) à basse température (car sa Tg est proche de la température ambiante).</li> <li>-Sensible aux UV.</li> <li>-Moins résistant à l'oxydation que le polyéthylène.</li> <li>-Difficile à coller.</li> </ul>

### 6.2 Fibres de polyéthylènes :

Ces fibres sont en forme de filaments grossiers (figure25). Leur longueur varie de 25 à 65 mm et leur diamètre équivalent est de 0,2 à 1,2 mm. L'utilisation de ce type de fibre permet une meilleure résistance aux impacts et à la fatigue et améliore le contrôle de la fissuration. Certains types de fibres sont aussi reconnus pour diminuer la fissuration provoquée par le retrait plastique. [32]



Figure 26: Polyéthylène.

Structure :



Figure 27: Schéma représentatif du polyéthylène [32]

La polymérisation du polyéthylène est représentée dans la figure suivante

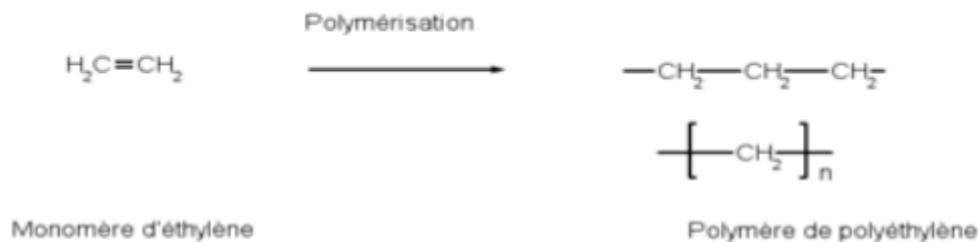


Figure 28: La polymérisation du polyéthylène.

### ✚ Les différents types de polyéthylène

Il existe différents types de polyéthylène :

Les polyéthylènes sont classés en fonction de leur densité qui dépend du nombre et de la longueur des ramifications présentes sur les chaînes moléculaires.

## Chapitre II : Généralités sur béton polymère

Tableau 3: Les types de polyéthylène. [33]

<b>PE-BD</b>	polyéthylène basse densité (en anglais LDPE, low-densité polyéthylène)
<b>PE-BDL</b>	polyéthylène à basse densité linéaire (en anglais LLDPE, linear low densité polyéthylène)
<b>PE-HD</b>	polyéthylène haute densité (en anglais HDPE, High-densité polyéthylène)
<b>PE-UHPM</b>	polyéthylène à masse molaire élevée (en anglais UHMWPE, ultra high-molecular-weight polyethylene)
<b>PE-R</b>	polyéthylène réticulé (en anglais PEX, cross-linked polyethylene)
<b>PE-RHD</b>	polyéthylène réticulé à haute densité (en anglais HDXLPE, high density cross-linked polyethylene)
<b>PE-MD</b>	polyéthylène à moyenne densité (en anglais MDPE, medium densité polyéthylène)
<b>PE-TBD</b>	polyéthylène à très basse densité (en anglais VLDPE, very low densité polyéthylène)



### Avantages et Inconvénients :[34]

Avantage	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en œuvre aisée.</li> <li>• Excellentes propriétés d'isolation électrique.</li> <li>• Résistance aux chocs.</li> <li>• Grande inertie chimique.</li> <li>• Qualité alimentaire</li> <li>• Perte du caractère perméable des PE que ce soit à l'eau, mais aussi à l'air et aux hydrocarbures.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilité aux UV en présence d'oxygène.</li> <li>• Sensibilité à la fissure sous contrainte.</li> <li>• Mauvaise tenue à la chaleur.</li> <li>• Collage important.</li> </ul>

### 7. Définition du béton polymère :

Le béton polymère est la dernière innovation dans le domaine des bétons décoratifs, en l'appliquant à une épaisseur de 20 mm sur tout type de surface, en particulier sur les clôtures, les socles, les escaliers, etc. est un matériau résolument moderne à base de sables de quartz liés à une résine polyester de haute qualité. [35]

Le béton polymère est constitué de charges minérales (granulat, sable,...) et d'un liant en polymère. On l'appelle aussi béton de résine synthétique ou béton de résine plastique. La légèreté de ce matériau facilite énormément sa mise en chantier et la présence de résine réduit l'absorption d'eau et garantit ainsi sa complète étanchéité. Ces matériaux résistent bien à l'abrasion et possèdent une grande stabilité aux cycles gel-dégel. En outre, comme ils ont une plus grande résistance mécanique que le béton de ciment portland, ils permettent d'économiser jusqu'à 50% de matériau. Ainsi, pour certaines applications spécifiques, ils concurrencent le béton conventionnel. La résistance aux agents chimiques et les caractéristiques mécaniques dépendent essentiellement de la nature du polymère utilisé et de la quantité de charge. [36]



Figure 30:préfabriqué béton polymère



Figure 29:Béton polymère [3]

### **8. Propriétés de béton polymère :**

Les propriétés mécaniques des polymères se situent entre celles des céramiques (matériaux les plus fragiles) et celles des métaux connus pour leurs bonnes performances mécaniques.

Les polymères thermodurcissables ont un comportement mécanique semblable aux polymères thermoplastiques. Cependant, à moins de n'être que très faiblement réticulés, ils ne subissent pas de fort ramollissement lorsque la température augmente.

Les propriétés mécaniques ne seront significativement affectées aux hautes températures que par la dégradation chimique du réseau macromoléculaire. [37]

### **9. Les principaux avantages et les inconvénients du béton polymère :**

#### **Les avantages d'un béton polymère [38]**

- Une bonne résistance aux agents chimiques et aux agents corrosifs ;
- Une plus faible perméabilité à l'eau et une bonne résistance aux cycles de gel-dégel;
- Un faible coefficient de dilatation thermique ;
- Un durcissement rapide ;
- Une bonne adhésion aux granulats et aux bétons anciens ;
- Des résistances mécaniques meilleures que celles des bétons hydrauliques.
- Une bonne résistance à l'abrasion ;
- Une excellente durabilité avec un coût raisonnable ;

#### **les inconvénients d'un béton polymère [38]**

- Le coût de la matière première (principalement le liant) est plus élevé (jusqu'à 8 fois) comparé à celui des bétons hydrauliques.
- Ces bétons se caractérisent par une mauvaise odeur et une toxicité provenant de la partie liante du matériau c'est-à-dire la résine et le durcisseur pendant le malaxage et la mise en œuvre.

### **10. Rôle des fibres polymère :**

Les fibres en général ont pour rôle de renforcer ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des microfissures.

Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives.

## Chapitre II : Généralités sur béton polymère

Selon les fibres utilisée (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées, ce rôle se traduit par les améliorations relatives à : [39]

- La cohésion du béton frais.
- La déformabilité avant rupture.
- La résistance à la traction par flexion.
- La ductilité et la résistance post fissuration.
- La résistance aux chocs.
- La résistance à la fatigue.
- La résistance à l'usure.
- La résistance mécanique du béton aux jeunes âges.
- La réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures.
- La tenue au feu.
- La résistance à l'abrasion.

### 11. Comparaison entre béton polymère et béton ordinaire :

On peut simplifier la différence entre béton polymère et béton ordinaire dans le tableau :

Tableau 4: Comparaison entre béton polymère et ordinaire. [40]

Caractéristiques	Béton Polymère	Béton ordinaire	Norme
Liant	Résine + quartz	Ciment + Eau	-
Valeur de compression	De 80 à 90 MPa	De 20 à 30 MPa	NF-EN-196-1
Valeur de flexion par traction	De 20 à 24 MPa	De 4 à 6 MPa	NF-EN-196-1
Module de Young (élasticité)	21 300 MPa	20000 MPa	DIN 51 290/3
Abrasion	1,15	>2	DI-EL-97-024
Absorption d'eau	0,2%	8.10%	UNE 22 191
Masse volumique	2 109 Kg/	2 300 kg/	
Coefficient d'écoulement (Manning Strickler)	108 moyens	De 60 à 90	NF EN 752-4
Résistance au gel	Inaltéré	Dommmages, lézardes avec p de masse	UNE 127 004
Résistance au feu	M0 – M1	M0	NF P 92 500

### 12. Les différentes applications d'un béton polymère :

Béton polymère est utilisé pour de nombreux types de projets de construction spécialisés. Comme d'autres types de béton, il peut être utilisé pour assembler deux composants différents ou de fournir une structure ou une base. Le matériau est utilisé dans la construction électrique ou industrielle où le béton doit durer longtemps et être résistant à de nombreux types de corrosion. [41]

#### a. L'utilisation des bétons polymère dans les bâtiments domaine de génie civil :

Utilisé essentiellement dans la production du marbre artificiel, l'industrie de façades, s'est enrichie avec l'utilisation du béton polymère comme matériau de revêtement avec des différentes formes de ces dernières de plus en plus complexes de point de vue architecturale et les exigences économiques et techniques plus stricts (Fig. 31). [41]



Figure 31: Façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment. [3]

#### b. L'utilisation des bétons polymère dans l'horticulture :

Le béton polymère est utilisé pour fabriquer des petites formes et des bacs pour les plants. Ces conteneurs sont à déplacer selon les conditions météorologiques et c'est ici que réside l'avantage de profiter de béton polymère plus léger et robuste (Fig. 32). [44]



Figure 32: Quelques applications du béton polymères (Bacs de fleurs –chaise).[3]

### c. L'utilisation des bétons polymère pour les revêtements des chaussés et planchers :

Les planchers qui sont réalisées par le béton polymère dans les établissements industriels sont constamment exposés à des actions mécaniques permanentes exercées par les engins de transport, les vibrations, les impacts, l'abrasion, l'action des agents chimiques. De même pour les chaussés, le mouvement intensifs des véhicules lourdes essentiellement réduit énormément le freinage à temps et cause l'usure de la surface du béton. Les investigations basées sur des essais en laboratoires et in-situ pour une période de 10 ans ont démontré l'efficacité de cette technique si la résine est bien choisie. [41]



Figure 33: Quelques applications du béton polymères (des chaussés et planchers). [3]

## Chapitre II : Généralités sur béton polymère

### d. L'utilisation des bétons polymère dans les travaux de drainage et hydrauliques :

L'utilisation du béton polymère pour la fabrication des différents systèmes de drainage et le réseau de canalisation, est très répandue comme résultat de la faible absorption d'eau et une résistance exceptionnelle au gel peuvent avoir jusqu'à 15 mm d'épaisseur (réduction de 1/3 du poids par rapport au béton cimentaire). [41]



Figure 34: Quelques applications du béton polymères (drainage et hydrauliques). [3]

### e. L'utilisation des bétons polymère dans l'industrie :

Le béton polymère est fortement recommandé dans la construction des usines chimiques et dans la fabrication des équipements miniers (électrolytique, réservoirs, puits, etc.). [41]



Figure 35: Quelques applications de béton polymère (industrie). [3]

### f. L'utilisation des bétons polymère comme isolation phonique :

Par la fabrication des écrans phoniques (Fig. 34), le produit doit avoir une bonne résistance mécanique surtout sous l'action des vents intenses et une résistance à l'humidité, aux gaz, aux huiles et antigels. Par des renforts comme le verre, le caoutchouc et des autres minéraux usuels. [41]



Figure 36:Quelque application de béton polymère (isolation phonique). [3]

### 13.Conclusion :

On peut dire que le béton polymère n'est pas comme le béton traditionnel, même si elle utilise certains des mêmes types de matériaux. Il est également utilisé pour des projets de construction de la même manière. Mais les composés polymères donner les concrètes plusieurs caractéristiques qui tendent à la rendre plus sûre et plus durable que le béton ordinaire. Le béton polymère tend à être plus cher que la version traditionnelle et est mesurée plus précisément en termes de densité et de retrait.

***CHAPITRE III:***

***MATÉRIAUX UTILISÉS ET MÉTHODES D'ESSAIS***

### 1. Introduction :

Ce chapitre porte sur la présentation détaillée des différentes méthodes et techniques expérimentales de caractérisation pour une continuité de la partie théorique, Nous présentons dans ce chapitre les caractéristiques des matériaux utilisés, fourni par les essais suivants (analyse granulométrique, masse volumique apparente et absolu des granulats) pour l'élaboration du béton polymère. Les essais mécaniques (compression) ont été menés sur des éprouvettes cubique  $7*7*7\text{cm}^3$  selon les normes appliquées, ainsi que les essais physiques (absorption d'eau, porosité). Ces tests ont été effectués au niveau de laboratoire de Génie civil de CUBBAT. Les principaux essais mécaniques (compression) ont été exécutés au niveau du laboratoire d'essais de LTPO.

### 2. les matériaux et outils utilisés :

- Ciment GICA.
- Sable de mer (0/1).
- Léau de gâchage (potable).
- Gravier (3/8).
- Adjuvant (SUPERIOR 9 WG).
- Les fibres (polypropylène ; polyéthylène).
- Etuve.
- La table vibrant.
- les moules pour éprouvette de  $7x7x7\text{ cm}^3$ .

#### 2.1 Ciment (GICA) :

La fabrication du ciment de bonne qualité qui est un ciment dans les normes ; Le ciment employé dans notre étude est le ciment Portland composé: CPJ- CEM II/A 42.5 N de la cimenterie de BENI SAF D'AIN TEMOUCHENT, dont les spécifications Physico-chimiques ainsi que mécaniques sont étudiées conformément à la norme algérienne (NA 442 édition 2000).

#### 5.12 La nomenclature du ciment :

Une nomenclature régit le nom des ciments, afin de donner des indications sur sa composition, simplement à partir de son nom. Ciment de Béni-Saf :

CPJ - CEM II / A 42, 5 N :

## Chapitre III : matériaux utilisés et méthodes d'essais

- Le premier chiffre romain II indique le type de ciment.
- La lettre majuscule suivante A indique la proportion des constituants.
- Les chiffres 42, 5 indiquent la classe de résistance.
- la dernière lettre indique la résistance (N normale).



Figure 37:Le ciment utilisé.

### 5.13 La composition du ciment :

Tableau 5:Composition chimique du ciment CPJ CEMII /A 42.5.

Eléments	SiO <sub>2</sub>	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cao	MgO	SO <sub>3</sub>	PEF	Total	Cao libre	insolubles
Teneurs %	26.65	5.52	3.22	56.8	1.03	2.45	2.42	95.98	0.5	7.73

Tableau 6:Composition minéralogique du CPJ CEM II / A 42.5

Composante	Percentage (%)
C <sub>3</sub> S	51.74
C <sub>2</sub> S	24.50
C <sub>3</sub> A	8.78
C <sub>4</sub> AF	10.51
CAO	0.91

## Chapitre III : matériaux utilisés et méthodes d'essais

Tableau 7:Caractéristiques physiques du ciment CPJ CEMII/A42.5.

Ciment poudre			Ciment pate		
Masse Volumique apparente g/cm <sup>3</sup>	Masse Volumique absolue g/cm <sup>3</sup>	Surface de BLAINE Cm <sup>2</sup> /g	Refus Du tamis 0.063 mm (%)	début de prise	Fin de prise
1.14	3.17	38.40	80.90	2h15 min	3h30- 4h30

Tableau 8:Caractéristiques mécaniques du ciment utilisé.

Âge (jours)	Résistance à la flexion (MPa)	Résistance à la compression (MPa)
7	3.63	38.74
28	6.750	46.48

### 2.2 Sable de mer :

Dans ce travail de recherche, le sable utilisé pour la fabrication de nos bétons ordinaires et béton fibré est un sable de mer (sable fin roulé (0-1 mm)) qui provient de la sablière de TERGA (Wilaya d'Ain-Temouchent). Ce choix a été déterminé, non seulement pour des raisons de maniabilité, mais aussi par le fait que ce sable est le plus utilisé dans la région nord ouest Algérien.



Figure 38:Sable utilisé.

### 5.14 Analyse de sable :

- analyse chimique.
- Analyses granulométriques de sable selon la norme NF P 18 560.
- Equivalent de sable selon la norme NF P 18 598.
- Masse volumique apparente.
- Masse volumique absolu.
- Module de finesse.
- Teneur en fines.
- Coefficient d'uniformité Cu.
- Coefficient de courbure Cc.

L'analyse chimique et physique de sable a été réalisée au laboratoire des travaux publics de la région Ouest (LTPO) et les résultats obtenus sont illustrés dans les tableaux :

Les résultats obtenus au terme d'essais réalisés sont regroupés dans les tableaux suivants :

Tableau 9:Analyses chimiques du sable de mer [LTPO].

Caractéristiques	Teneurs (%)
SiO <sub>2</sub>	55.43
CaO	25.56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.61
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07
SO <sub>3</sub>	0.00
CaCO <sub>3</sub>	42.05
CO <sub>2</sub>	18.50

## Chapitre III : matériaux utilisés et méthodes d'essais

Tableau 10:Essai d'équivalent de sable [LTPO].

Désignation des essais	Fraction testée	Résultats obtenus	Valeurs requise par Les spécifications
Analyse granulométrique	Sable de mer	Classe granulaire 0/1	Agrégat d/D avec D>1.58 d 1<refus à D<15% 1<passant à d<15% Refus à 1.25D=0% Passant à 0.63d<3% 33%<tamisât à (d+D)/2<66%
Equivalent de sable	Sable de mer	ES=80% MF=0.83% %de fines =3%	ESv>75% 1.8<Mf<3.2 %fines<12% Avec un tolérance de ±0.35
Poids spécifiques absolu	Sable de mer	Ys=2.601 t/m3	
Poids spécifiques Apparente lâche	Sable de mer	Yapp=1.470t/m3	
Poids spécifiques apparente compacte	Sable de mer	Yapp=1.665t/m3	
Equivalent de sable visuel (%)	Sable de mer	94%	
Equivalent de sable à piston (%)	Sable de mer	91%	
Module de finesse	Sable de mer	0.83	
Teneur en fines (%)	Sable de mer	3%	
Coefficient d'uniformité Cu	Sable de mer	3.5	
Coefficient de courbure Cc	Sable de mer	1.03	

## Chapitre III : matériaux utilisés et méthodes d'essais

Tableau 11:Analyse de granulats.

Ouverture des tamis En mm	Tamisât(%)	Résultats Obtenu (%)
5.0	0	100%
25	79.93	20.07%
1.25	99.12	0.88%
0.63	99.88	0.12%
0.315	99.88	0.12%
0.16	99.88	0.12%
0.08	99.88	0.12%
Fond	99.99	0.01%

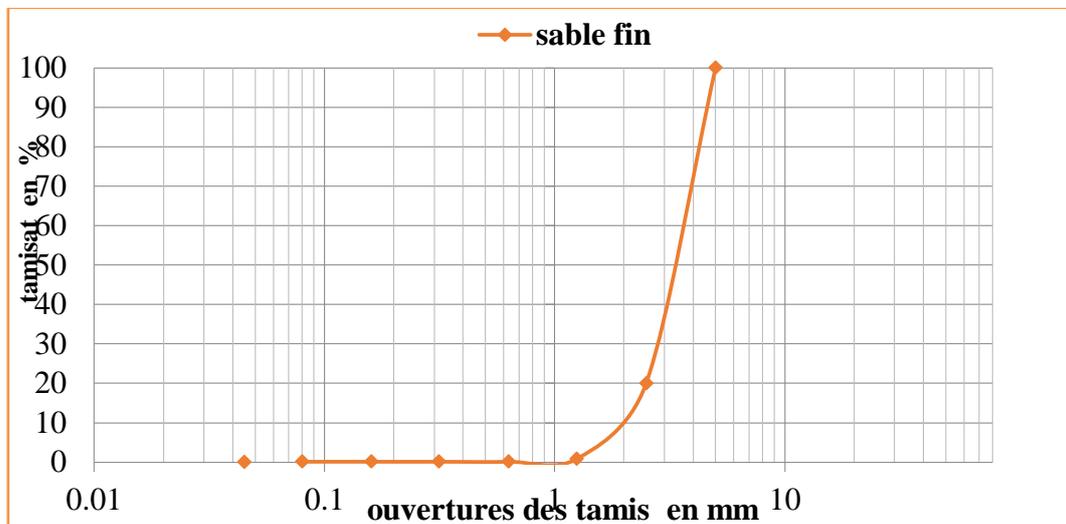


Figure 39: Courbe granulométrique de sable de mer (0/2 mm).

### 2.3 Léau de gâchage :

La qualité de l'eau joue un rôle primordial sur la qualité finale, les impuretés contenues dans l'eau peuvent influencer la prise du ciment ou la résistance du béton. Pour ces raisons et d'autres, la qualité de l'eau de gâchage ou celle utilisée pour le mûrissement doit être contrôlée.

## Chapitre III : matériaux utilisés et méthodes d'essais

L'eau utilisée pour les mélanges de béton est une eau potable, exempte d'impuretés, maintenue à une température constante, issue du robinet de laboratoire du département de génie civil de centre universitaire d'Ain t'émouchent.

L'analyse chimique a été effectuée au LTPO et les résultats obtenus sont reportés dans le tableau.



Figure 40:Eau potable.

### 5.15 la composition d'eau :

Tableau 12:Analyse chimique de l'eau.

Composant	Quantité (mg/L)
Minéralisation	504.1
Turbidité	0.34
PH	7.1
Calcium	29.75
Magnésium	21.51
Bicarbonate	122
Chlorure	177.3
Sulfate	24.04
Nitrate	3.34
Fer	0.0
Ammonium	0.01

### 2.4 Gravier :

Dans ce travail de recherche, le gravier utilisé pour la fabrication de nos bétons ordinaires et béton fibré est un gravier 3/8 qui provient de la sablière de TERGA (Wilaya d'Ain-Temouchent). Ce choix a été déterminé, non seulement pour des raisons de maniabilité, mais aussi par le fait que ce gravier est le plus utilisé dans la région nord ouest Algérien.



Figure 41:Le gravier utilisé.

### 5.16 Analyse granulométriques de gravier 3/8 :

- Le poids d'échantillon : 2000 g.

Après le lavage et séchage : 1914.4g.

Tableau 13:résultats de l'analyse granulométrique de gravier 3/8.

Tamis (mm)	Refus (g)	Refus cumulés (g)	tamisât %
8	3.6	0.19	99.81
6.3	431.9	22.56	77.44
5	1009.1	52.71	47.29
2.5	1810.9	94.59	5.41
1.25	1889.8	98.72	1.28
0.63	1912.8	99.92	0.08
Fond	1912.8	99.92	0.08

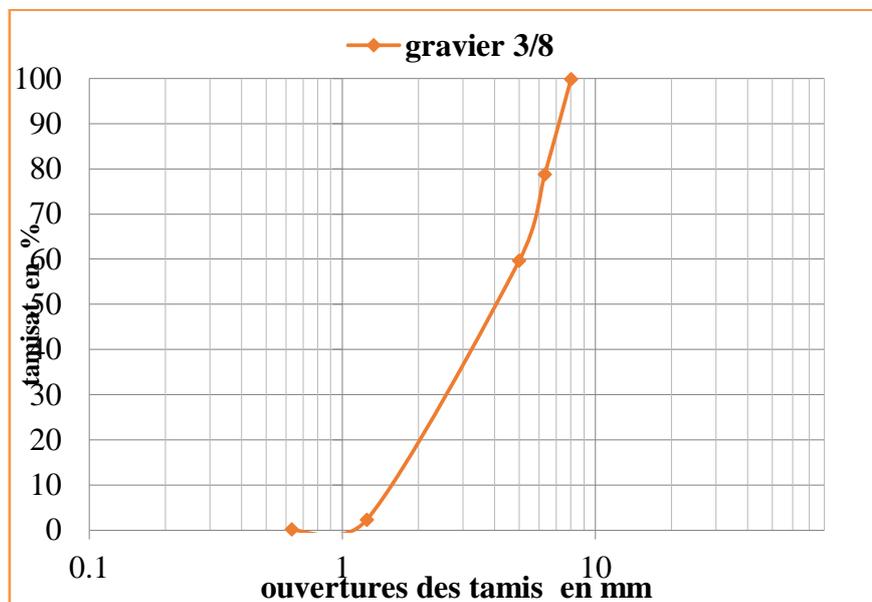


Figure 42:Courbe granulométrique de gravier (3/8).

### 2.5 Adjuvant :

Les adjuvants sont des produits chimiques qui, incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des doses inférieures à 5 % du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés Ou du comportement de ceux -ci.

Nous avons utilisé ce projet SUPERIOR 9 WG est un adjuvant super plastifiant à base de poly-carboxylates de nouvelle génération, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits.

### 5.17 Les propriétés chimiques et physiques :

Tableau 14:les propriétés chimiques et physique d'adjuvant.

état physique	Liquide
Couleur	Brun
Densité (g/cm <sup>3</sup> , à20c)	1.10 (±0.03)
PH (20 c)	5.5 (±1)
Extrait sec	33% (±2%)
Teneur en chlorures	<0.1%

### 5.18 Les caractéristiques :

- Le SUPERIOR 9 WG est particulièrement recommandé pour la fabrication de béton exigeant :
- Un faible rapport E/C.
- Un long maintien d'ouvrabilité.
- Des performances mécaniques élevées à court et long terme.
- Une diminution du retrait.
- Une imperméabilité.
- Un meilleur parement.
- Une durabilité.

### 5.19 Dosage :

- Le dosage de SUPERIOR 9 WG varie entre 0.6 à 2 % du ciment soit de 0.6 à 1.8 litre pour 100 Kg de ciment.
- Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction des matériaux disponibles, de la classe de béton et des effets recherchés.

### 5.20 Domaines d'application :

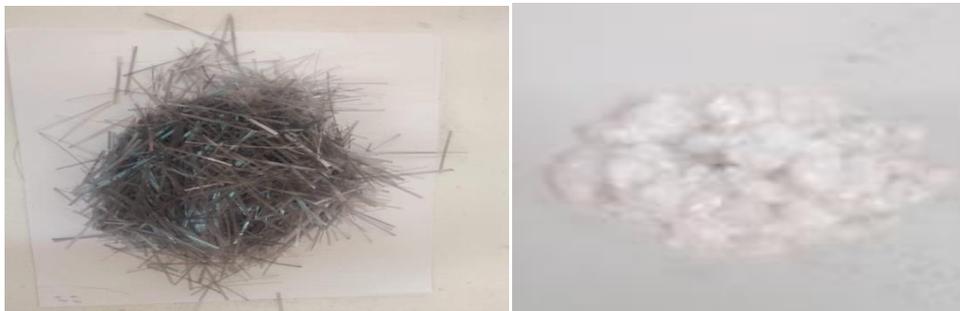
- Béton à hautes performance.
- Béton pour fondations profondes.
- Béton pompé transporté sur de longues distances.
- Béton précontraint.

### 5.21 Mode d'emploi :

- La destination du SUPERIOR 9 WG ne doit jamais se faire sur un billon avant l'ajout d'eau, serait absorbée par les agrégats et le sable et d'au une inefficacité avec le ciment.
- Il est conseillé d'ajouter le SUPERIOR 9 WG après l'ajout des composants de béton et environ 90% de l'eau de gâchage nécessaire.
- Terminer le mélange en ajoutant graduellement l'eau restante 10% jusqu'à l'obtention de la consistance désirée les dosages sont évalués au poids du ciment.

## 2.6 Les fibres :

Les fibres utilisées pour préparer les différents échantillons de béton fibrés sont deux types : les fibres de polypropylène, les fibres de polyéthylène :



**Polyéthylène**

**polypropylène**

Figure 43: Les types des fibres utilisées.

## Chapitre III : matériaux utilisés et méthodes d'essais

### 5.22 Les propriétés des fibres :

Tableau 15:les propriétés du polypropylène et polyéthylène.

Type de fibre	Polypropylène	Polyéthylène
Longueur (mm)	6	50
Diamètre (mm)	0.05	0.3
Densité (kg/m <sup>3</sup> )	900-910	0.935
Résistance à la traction(Mpa)	600	350
Module d'élasticité (Mpa)	1200	5
Allongement à la rupture (%)	10-20	3-80
Température de fonte	200-250c°	
Contrainte de traction	25 MPa	
Module de flexion	1550 MPa (5mm/min)	
Coefficient de poisson	0.4	
Contrainte à la rupture(Mpa)	30	
Coefficient de dilatation thermique	9*10	

### 3. Mesures expérimentales

#### Essais sur les granulats :

##### Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules. Il pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compact ou non compact.

L'essai de la masse volumique apparente est répété 3 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de MVA.

**La masse volumique apparente est donnée par la formule :**

$$\rho_{\text{apparent}} = \left( \frac{M1+M2+M3}{3} \right) \times \frac{1}{V}$$

## Chapitre III : matériaux utilisés et méthodes d'essais

### Les matériels nécessaires pour cet essai :

- Un entonnoir monté sur trépied.
- Un récipient calibré de 1L.
- Une règle.
- Une balance.



Figure 44: Les matériels utilisés.

### Matériaux utilisés :

- Un échantillon de sable de mer.
- Un échantillon de ciment.
- Un échantillon de gravier.

Pour le sable :



Figure 45: La masse volumique apparente de sable.

## Chapitre III : matériaux utilisés et méthodes d'essais

Pour le ciment :



Figure 46: La masse volumique apparente de ciment.

Pour le gravier :



Figure 47: La masse volumique apparente de gravier.

Tableau 16: Résultats de l'essai masse volumiques apparentes.

Classe granulaire	Masse (1)	Masse (2)	Masse (3)	Masse volumique Apparente $\text{g/cm}^3$
Sable de mer	2827.46	2824.63	2821.97	1.450
Gravier	2734.16	2777.44	2792.47	1.316
Ciment	2397.48	2382.56	2374.59	2.385

## Chapitre III: matériaux utilisés et méthodes d'essais

### ✚ La masse volumique absolue :

La masse volumique absolu est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte es vides pouvant exister dans ou entre des grains.

La masse volumique absolue est donnée par la formule :

$$\rho_{\text{absolue}} = \left( \frac{M}{V_2 - V_1} \right)$$

Les matériels nécessaires pour cet essai :

- Une Eprouvette graduée.
- Une balance.

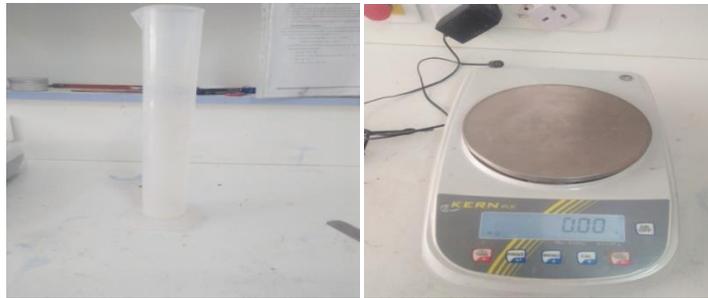


Figure 48: Les matériels utilisés.

- matériaux utilisés :
- 100 g de gravier.
- 150 g de sable de mer.

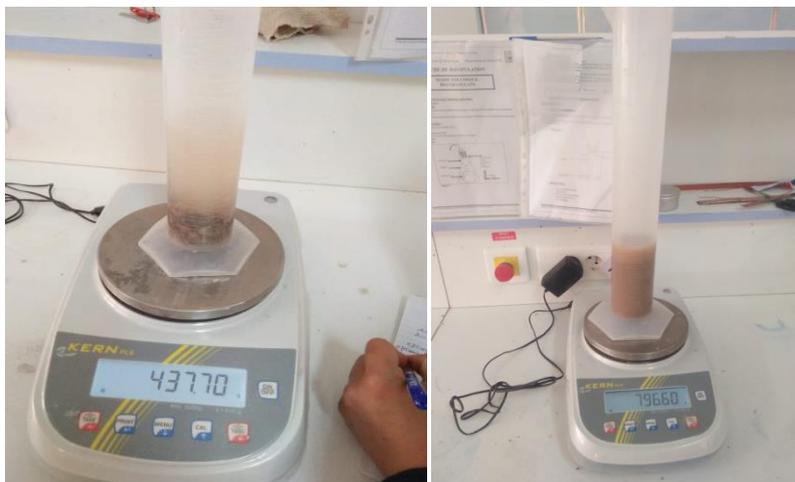


Figure 49: la masse volumique absolue de sable, gravier.

## Chapitre III: matériaux utilisés et méthodes d'essais

Tableau 17: Résultats de l'essai masse volumiques absolue.

Classe granulaire	Masse	Volume (1)	Volume (2)	Masse volumique Absolue
Gravier	145.70	200	238	2.634
Sable de mer	504	350	420	2.601

### ✚ La teneur en eau :

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau  $W$  contenu par unité de poids de matériau sec.

### La teneur en eau donnée par la formule :

$$\omega = \left( \frac{Mh - Ms}{Ms} \right) \times 100 \quad (\%)$$

### Les matériels nécessaires pour cet essai :

- Etuve.
- Anneau volumique.
- Balance.



Figure 50: Les matériels utilisés de teneur en eau.

- Matériaux utilisés :
- Un échantillon de sable de mer.
- Un échantillon de sable concassé.
- Un échantillon de gravier.



Figure 51: La teneur en eau du sable, gravier.

Tableau 18: les Résultats de l'essai la teneur en eau.

Classe granulaire	Masse humide	Masse sec	La teneur en eau %
Sable de mer	200	179.28	11.557
Gravier 3/8	200	192.79	3.739

### ✚ Essai de foisonnement :

L'essai consiste à mesurer la variation de la masse volumique apparente d'un échantillon de sable en fonction de l'accroissement progressif de sa teneur en eau. Les résultats sont portés sur un graphique en vue de tracer la courbe de foisonnement du sable testé.

Le foisonnement donné par la formule :

$$F = \left( \frac{MVAPP}{MVAPPW(1+Wm)-1} \right)$$

Avec  $Wm = Mw/Ms$

### Les matériels nécessaires pour cet essai :

- Récipient
- Spatule.
- Balance électronique.

## Chapitre III: matériaux utilisés et méthodes d'essais

### Matériaux utilisés :

- Sable.
- Eau.

La masse de sable sec avec récipient=1426.14 g.

La masse de sable sec=1428.14g.

Le volume d'eau 1%=20ml.

Tableau 19:les résultats de l'essai de foisonnement.

Teneur en eau %	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
Masse	1428.14	1428.14	1428.14	1428.14	1428.14	1428.14	1428.14	1428.14	1428.14	1428.14
Volume	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
La masse volumique apparente	1365.35	1138.26	1000.37	946.42	969.96	1001.69	1022.77	1028.06	1041.04	1042.31

Après ces résultats en peu calculer le foisonnement :

$$Wm = \left( \frac{20}{1428.14} \right) = 0.014$$

$$F1 = \left( \frac{1.428}{1.365(1+0.014)-1} \right) = 3.71$$

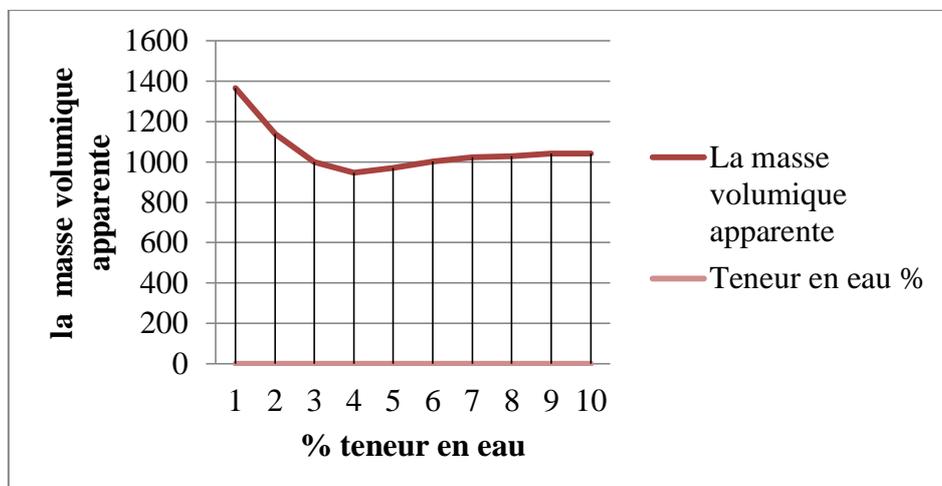


Figure 52: les résultats obtenus de l'essai de foisonnement

## Chapitre III: matériaux utilisés et méthodes d'essais

### 4. Formulation des bétons

#### Calcule les paramètres de formulations à partir du méthode de faury :

Tableau 20:les paramètres de formulations à partir du méthode de faury.

	<b>La formule de calcul</b>	<b>Les résultats</b>
Détermination le module de finesse.	$M.F = \frac{\text{Refus cumulés\%}}{100}$	M.F de sable=1.9 (1.8<1.9<3.2)
Détermination du D max.	$D \max = d1 (d1-d2) x/y.$	D max de gravier =8.014 mm.
Détermination du point de brisure de la courbe de référence	Sur ordonné : $P1 = A + 17 \text{ racine } 5 \text{ de } D \max$  Pour sable et gravier roulé $A = 30$ Sur l'abscisse : $P2 = D \max / 2$	 $P1 = 55.776\%$ $P2 = 4.007 \text{ mm.}$
Détermination de Léau théorique	$E = (k / \text{racine } 5 \text{ } D \max) / 1000.$ $K = 0.35$ (sable et gravier Roules)	$E = 230.83 \text{ l/m}^3.$
Volume absolu de volume Sec	$Va = 1000 - E.$	$Va = 769.17 \text{ L}$
Pourcentage du ciment	$C = (D/P) / Va * 100.$	$C = 16.40\%$
Le rapport E/C	$E/C$	$E/C(B.T) = 0.48.$ $E/C(B.A) = 0.4.$

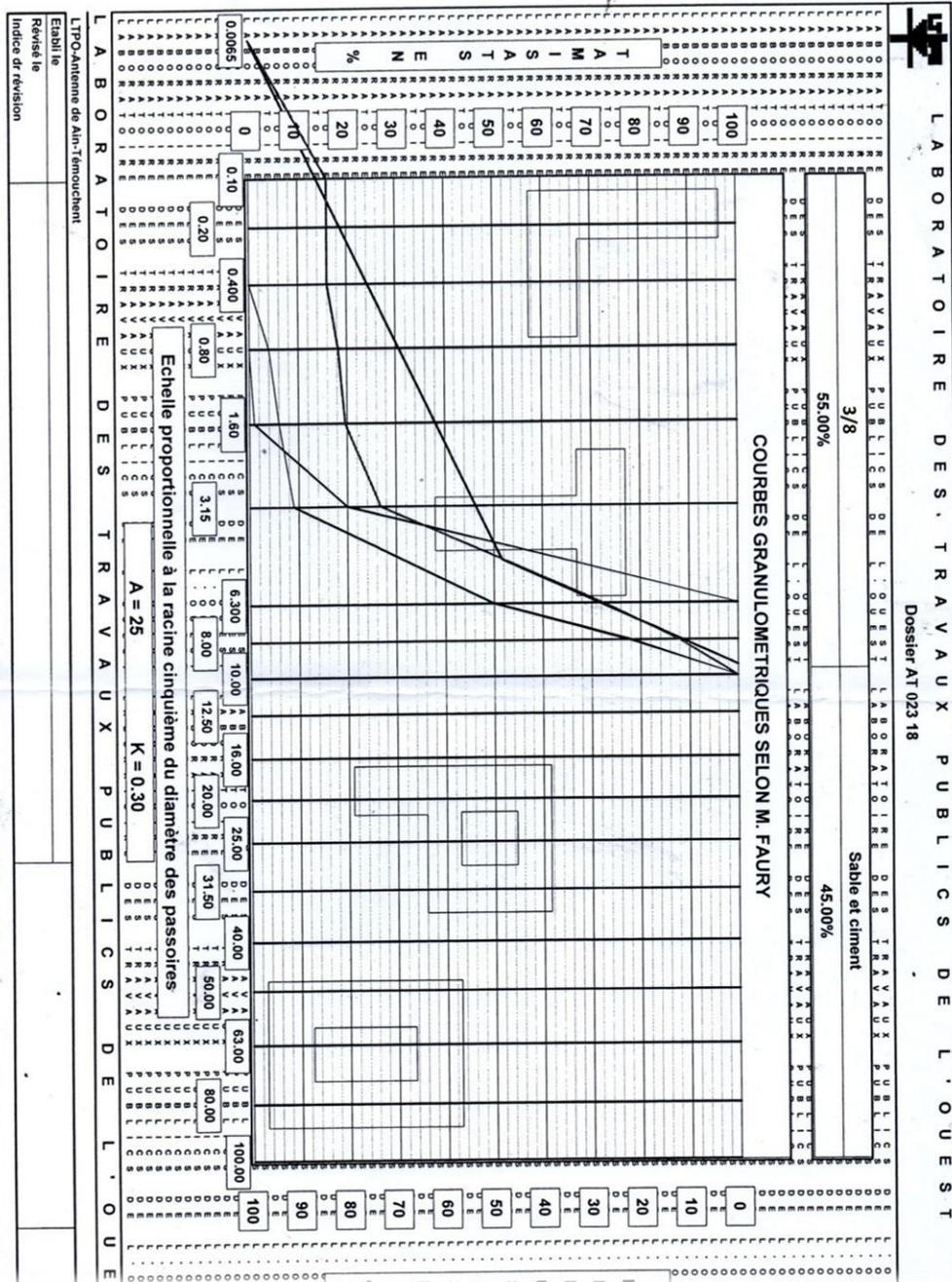


Figure 53: Courbes granulométriques selon M. FAURY

## Chapitre III: matériaux utilisés et méthodes d'essais

### ✚ La composition de béton polymère a base des fibres :

C'est la quantité des matériaux pour  $1\text{m}^3$  de béton sont présenté par le tableau suivant :

Codification des bétons utilisés :

Tableau 21: La formulation de béton polymère a base des fibres ( $1\text{m}^3$ ).

Compositi on Kg/ $1\text{m}^3$	Ciment	Sable de mer	Gravier	L'eau	Adjuvant	Polypropylène	Polyéthylène
<b>B.T1</b>	400	610	1171	192	0	0	0
<b>B.A</b>	400	610	1171	160	1	0	0
<b>B.P1</b>	400	610	1171	160	1.14	1	0
<b>B.P2</b>	400	610	1171	160	1.14	0	1
<b>B.P3</b>	400	610	1171	160	1.14	1	1

### 5. Technique expérimental

Le tableau suivant contient la formulation de béton polymère pour la quantité de matériau utilisée dans le moule par les dimensions ( $7*7*7\text{ cm}^3$ ) et de volume [ $0.000343\text{ m}^3$ ] :

## Chapitre III: matériaux utilisés et méthodes d'essais

Tableau 22: la formulation de béton polymère à base des fibres (7\*7\*7 cm<sup>3</sup>).

De moules (7*7*7) Cm <sup>3</sup>	Ciment	Sable de mer	Gravier	L'eau	Adjuvant	Polypropylène	Polyéthylène
<b>B.T</b>	0.1372	0.209 23	0.401653	0.065 856	0	0	0
<b>B.A</b>	0.1372	0.209 23	0.401653	0.054 88	0.0003910 2	0	0
<b>B.P1</b>	0.1372	0.209 23	0.401653	0.054 88	0.0003910 2	0.000343	0
<b>B.P2</b>	0.1372	0.209 23	0.401653	0.054 88	0.0003910 2	0	0.000343
<b>B.P3</b>	0.1372	0.209 23	0.401653	0.054 88	0.0003910 2	0.000343	0.000343

### Mode opératoire de cette formulation :

Tous les mélanges sont préparés manuellement, en suivant les étapes suivantes :

- Nettoyage et graissage des moules.
- Préparer et peser chaque composant utilisé (ciment, sable, gravier, fibre, adjuvant, eau).
- Malaxage à sec des constituants solides.
- Verser l'eau et l'adjuvant dans le récipient.
- Ajout de 1/3 du mélange eau/adjuvant.
- Malaxage.
- Ajout des 2/3 restants du mélange eau/adjuvant.
- Fin du malaxage.

## Chapitre III: matériaux utilisés et méthodes d'essais



Figure 54: Les étapes de malaxage.

Après avoir le béton est bien malaxé en arrête et on fait l'essai d'affaissement au cône d'abrams pour déterminer sa consistance.

Essai de consistance au cône d'Abrams :

L'essai réalisé conformément aux prescriptions de la norme NF EN 12350-2.

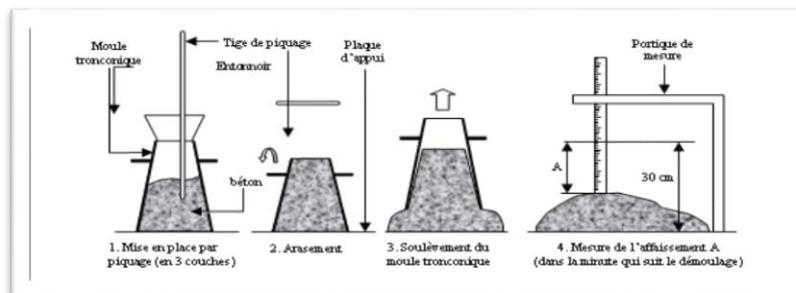


Figure 55: l'essai d'affaissement.

## Chapitre III: matériaux utilisés et méthodes d'essais

Tableau 23:Appréciation de la consistance en fonction de l'affaissement au cône.

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

Tableau 24:les résultats de consistance des différents gâchés utilisés.

Gâchés	Affaissement (cm)	Classe de consistance
<b>B .Témoïn</b>	0,5	Ferme (F)
<b>B.A</b>	7	Plastique (P)
<b>B.P1</b>	4	Ferme (F)
<b>B.P2</b>	5	Plastique (P)
<b>B.P3</b>	5	Plastique (P)

### ✚ Préparation et confection des échantillons :

Dans cette essai en verse le béton préparé dans un moule de 30 alvéoles de dimensions (7\*7\*7 cm<sup>3</sup>) en trois couches et la mise en place est réaliser par vibration de 15 coups pour chaque couche à laide de table vibrante.



Figure 56:La table vibrant et les moules pour éprouvette de 7x7x7 cm<sup>3</sup>.

### Conservation des éprouvettes :

Après 24h de coulage en va démouler les éprouvettes, puis les éprouvettes sont pesées et placées dans une solution d'eau saturée en chaux.

Après quelques jours (7, 28,60 ,90 jours) nous effectuerons des essais sur ces échantillons.

### Les essais sur les éprouvettes :

#### ✚ La résistance à la compression :

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression et du béton après j jours dans l'eau, qui peut être mesurée en laboratoire (LTPO), par application de compression axial des éprouvettes du béton ordinaire, adjuvante et fibré d'un volume  $(7*7*7)$  cm<sup>3</sup> dans une presse de béton jusqu' à la rupture.



Figure 57:appareil de l'essai de résistance à la compression.

#### ✚ Absorption capillaire :

Le principe de cet essai est de quantifier la masse d'eau absorbée par les différents types des bétons avec différents types des fibres cours du temps. Cet essai a été effectué sur des échantillons à l'âge de 7, 28, 60,90 jours.

L'absorption est déterminée lors d'une immersion une seule face. Les variations de la masse sont suivies par des pesées successives selon une période de mesures variant entre [5, 10, 15, 30,60] min.

- les échantillons sont prélevés puis séchés jusqu'à la stabilisation de la masse dans une étuve à 85 °C.
- Les éprouvettes sont laissés refroidir par la suite.
- cinq faces de chaque éprouvette ont été recouvertes avec de trois couches de La résine époxy laissant une seule face de  $(7 \times 7)$  cm<sup>2</sup> sans la résine (non recouverte).



Figure 58: Essai de l'absorption.

### ✚ La porosité accessible à l'eau :

La détermination de la porosité accessible à l'eau par pesée hydrostatique selon le mode opératoire, est une mesure simple et praticable sur une large variété des types du béton.

Il s'agit la détermination par pesée des données suivantes :

- La masse apparente d'une éprouvette de béton immergé dans l'eau ( $M_{eau}$ ).
- La masse d'éprouvette dans l'air alors qu'il est encore imbibé de liquide ( $M_{air}$ ).
- La masse d'éprouvette à l'état sec dans l'air ( $M_{sec}$ ).



Figure 59: L'appareil pour la pesée hydrostatique.

## Chapitre III: matériaux utilisés et méthodes d'essais

Tableau 25: pour chaque type des essais effectués, le nombre des éprouvettes préparés en béton que nous avons testés dans cette étude expérimentale à des différents âges.

Type d'essai	Eprouvettes préparées	Nombre des éprouvettes testés
Essai de compression	<p>3 éprouvettes 7x 7 x 7 cm pour chaque essai.</p> <p>Pour cinq type différent de BP l'essai de compression a été effectué pour quatre âges différents aussi (7, 28 ,60et 90 jours)</p> <p><math>N = 3 \text{ (ép)} \times 5 \text{ (BP)} \times 4 \text{ (âges)} = 60 \text{ ép}</math></p>	60
Essai d'absorption capillaire	<p>3 éprouvettes 7x 7 x 7 cm pour chaque essai.</p> <p>Pour cinq type différent de BP l'essai d'absorption capillaire a été effectué pour quatre âges différents aussi (7, 28 ,60et 90 jours)</p> <p><math>N = 3 \text{ (ép)} \times 5 \text{ (BP)} \times 4 \text{ (âges)} = 60 \text{ ép}</math></p>	60
Essai de porosité	<p>3 éprouvettes 7x 7 x 7 cm pour chaque essai.</p> <p>Pour cinq type différent de BP l'essai de porosité a été effectué pour quatre âges différents aussi (7, 28 ,60et 90 jours)</p> <p><math>N = 3 \text{ (ép)} \times 5 \text{ (BP)} \times 4 \text{ (âges)} = 60 \text{ ép}</math></p>	60

### **6. Conclusion :**

Nous avons présenté dans ce chapitre les différentes caractéristiques et les compositions liées aux matériaux utilisés dans ces mélanges, et après les essais sur les granulats en va faire des calculs des paramètres de formulation a partir de la méthode de faury et on a déterminé des coefficients pour obtenir la courbe des mélanges granulaires, pour choisi les quantités des granulats et d'eau pour faire le béton Et également présenté une méthode détaillée de traitement du mélange et les différentes formulations effectué plusieurs expériences.

***CHAPITRE IV:***

***RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS***

### **1. Introduction :**

Dans ce chapitre, nous présentons les différents résultats expérimentaux relatifs aux différents essais effectués sur les bétons étudiés à l'état durci (la résistance à la compression, la porosité accessible à l'eau ainsi que l'absorption capillaire du matériau), conformément aux modes opératoires mentionnés dans le chapitre III.

Une analyse et des discussions des résultats obtenus, suivies d'une comparaison entre les différents âges de mesures, seront également présentées dans ce chapitre.

### **2. Interprétations des résultats**

#### **2.1 Résistance en compression :**

---

La résistance en compression est une donnée importante pour la conception d'un matériau cimentaire. Les autres propriétés mécaniques, comme la résistance à la traction et à l'effort tranchant, le module d'Young, la relation contrainte déformation, sont reliées diversement à la résistance en compression. Les résultats sur la résistance à la compression sont également employés pour qualifier et quantifier l'efficacité des additions minérales remplacées du ciment dans un système cimentaires [42].

## Chapitre IV : résultats et interprétations

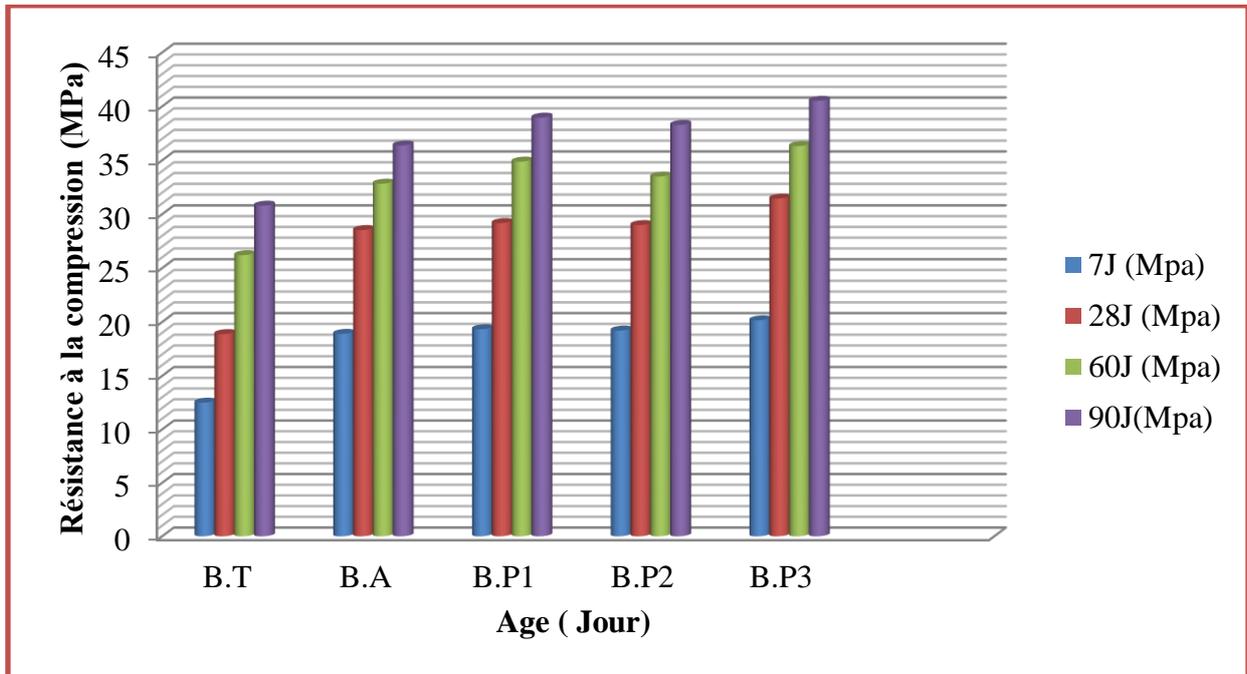


Figure 60:La résistance en compression.

Les figures présentées ci-dessus (Figure 60) montrent l'évolution de la résistance en compression des différents bétons étudiés en fonction de leurs âges. Nous rappelons que les valeurs illustrées sur ces figures correspondent à la moyenne arithmétique de trois valeurs de résistance à la compression mesurées sur les trois éprouvettes obtenues.

La figure, montre que la résistance en compression augmente en fonction de l'âge du matériau (à 7, 28, 60 et 90 jours). Cela est remarquable pour tous les bétons étudiés avec les différents types.

Nous remarquons aussi que cette évolution a la même allure, pour tous bétons testés avec différents types. Car la confection de nos bétons a été effectuée de la même manière et avec les mêmes matériaux granulaires.

Notons qu'à l'âge de 28 jours, les résistances en compression des bétons témoins sont 25,33MPa 22.515 MPa respectivement pour les bétons.

On remarque aussi, à partir des résultats indiqués sur la Figure (60). Que la résistance des bétons à base de polymère, est relativement supérieure par rapport à celle des bétons témoins au jeune âge, principalement le rapport E/C est égal à 0.4 stable.

Au delà de 28 jours, l'évolution de la résistance en compression (le graphique), pour tous les bétons contenant de polymère, est plus importante par rapport à celle des bétons

## Chapitre IV : résultats et interprétations

---

témoin (sans P). Cela est plus remarquable quand le rapport E/C est plus important. Ceci peut être expliqué par la quantité de liant (ciment + polymère) qui est mieux hydraté quand la quantité d'eau est plus importante (E/C élevée).

Alors, une quantité de la fibre, qui peut rester toujours dans le cas du béton avec adjuvant, conduit à un accélère dans cette évolution de la résistance à l'âge de 60 jours et 90 jours (à long terme généralement), par rapport aux bétons polymère (E/C = 0.4) et bétons témoin (avec E/C = 0.48).

Ceci est expliqué par le fait qu'un rapport E/C important pour béton témoin (E/C 0.4-0.6) et béton super plastifiant (E/C 0.38-0.4) conduit à une porosité ouverte du matériau élevée et, par conséquent, à une faible résistance mécanique.

À l'âge de 60 jours et 90 jours, les taux d'augmentation en résistance à la compression des bétons qui contiennent les polymères mais pas haut par les normes de béton fort.

### 2.2 Mesure de l'absorption capillaire

---

L'absorption capillaire est la tendance du béton à prendre de l'eau en l'absence d'une pression hydraulique externe. Ceci est censé se produire presque totalement dans les pores capillaires en dehors du gel. L'eau liquide est tirée dans ces pores grâce à la tension superficielle. L'absorption est le mécanisme principal par lequel le béton sec ou partiellement sec prene l'eau. Plus les pores sont petits, plus l'aspiration est grande.

Les Figures. 59, 60, 61 et 62 présentent l'évolution de la masse d'eau absorbée par les différents bétons testés, avec différents type de polymère, en fonction de la racine carrée du temps. Nous rappelons ici que les mesures de l'eau absorbée ont été enregistrées par pesées effectuées à 5, 10, 15, 30 et 60 minutes.

Notons que les valeurs illustrées sur ces figures ci-dessous, sont des moyennes arithmétique de trois valeurs, obtenus par des mesures effectuées sur trois éprouvettes de  $(7 \times 7 \times 7)$  cm<sup>3</sup> de chaque béton étudié à l'âge de (7j; 28; 60j et 90 jours).

## Chapitre IV : résultats et interprétations

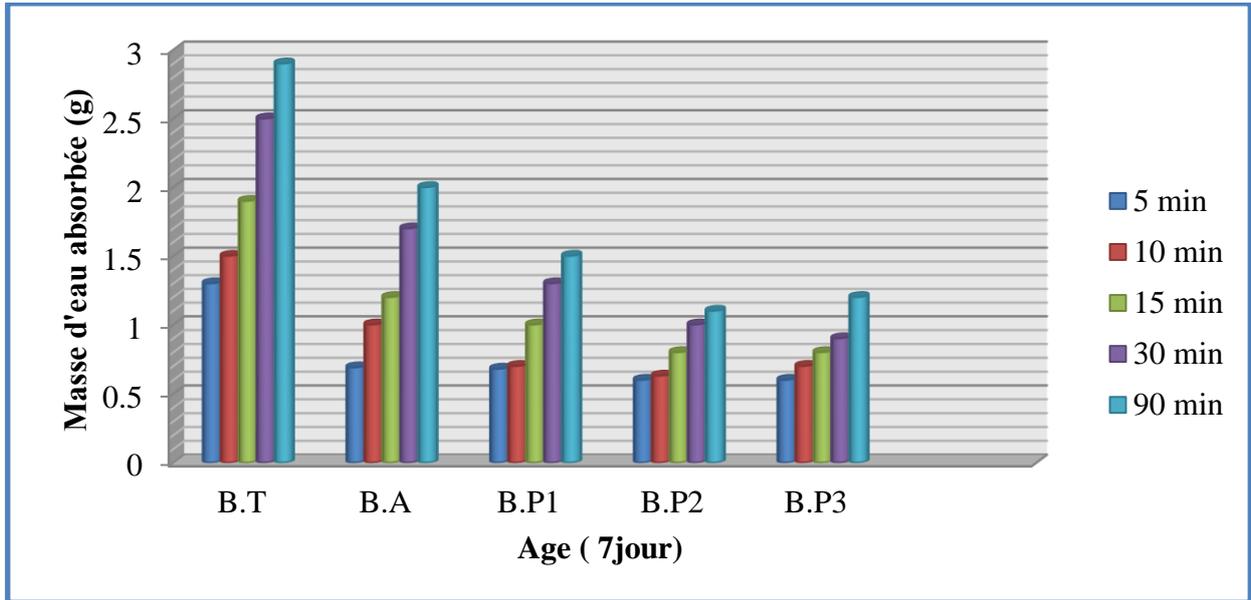


Figure 61: Evolution de la masse d'eau absorbée en fonction de la racine Carrée du temps des bétons.

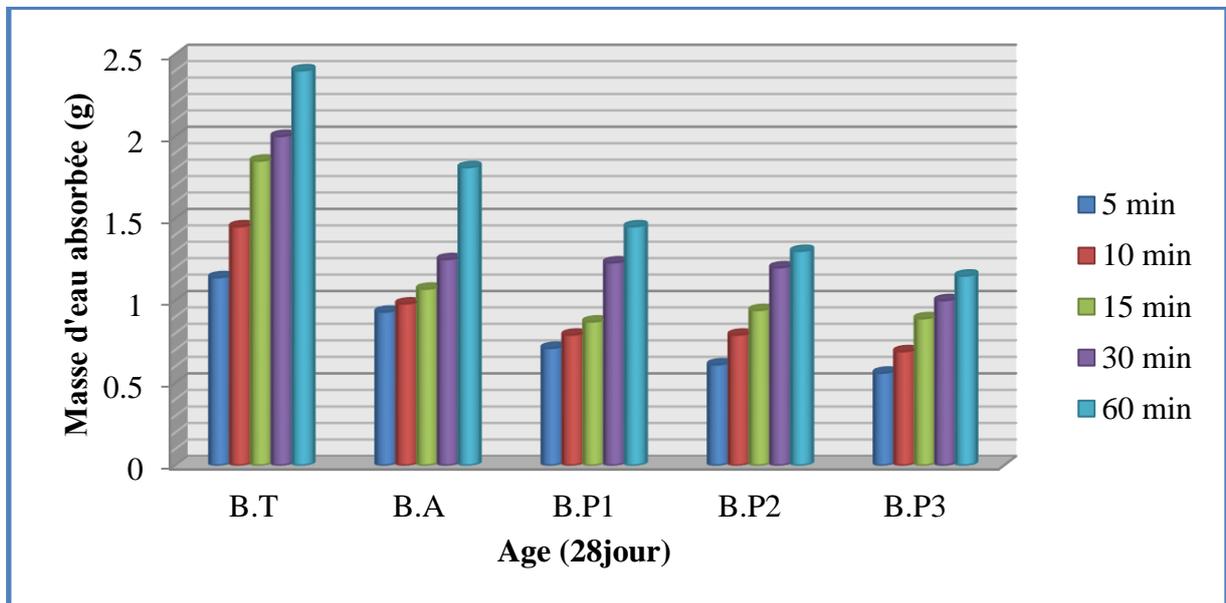


Figure 62: Evolution de la masse d'eau absorbée en fonction de la racine Carrée du temps des bétons.

## Chapitre IV : résultats et interprétations

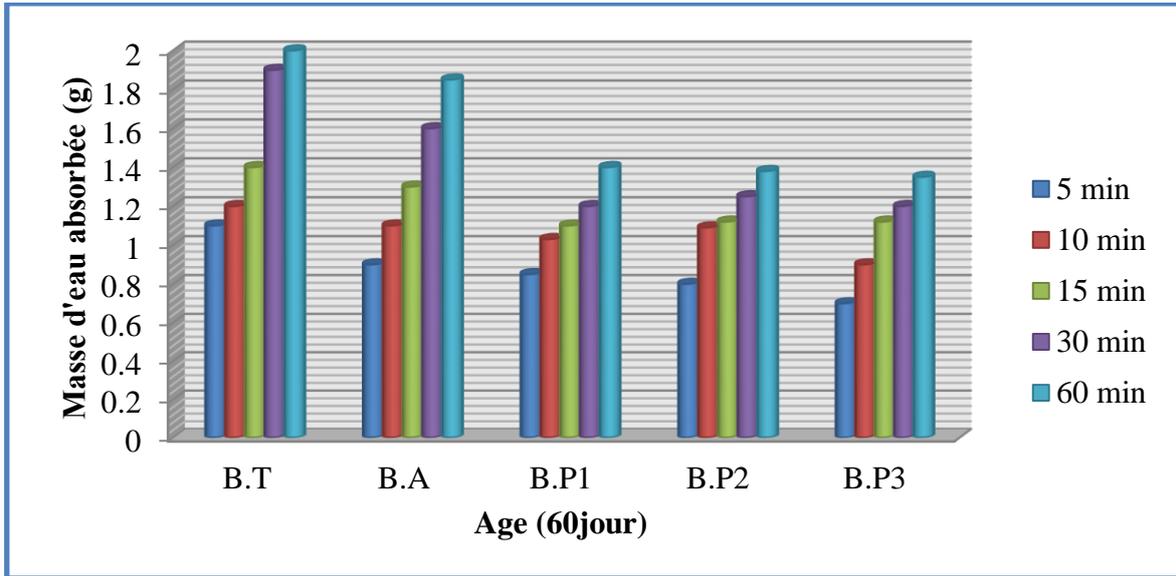


Figure 63: Evolution de la masse d'eau absorbée en fonction de la racine Carrée du temps des bétons.

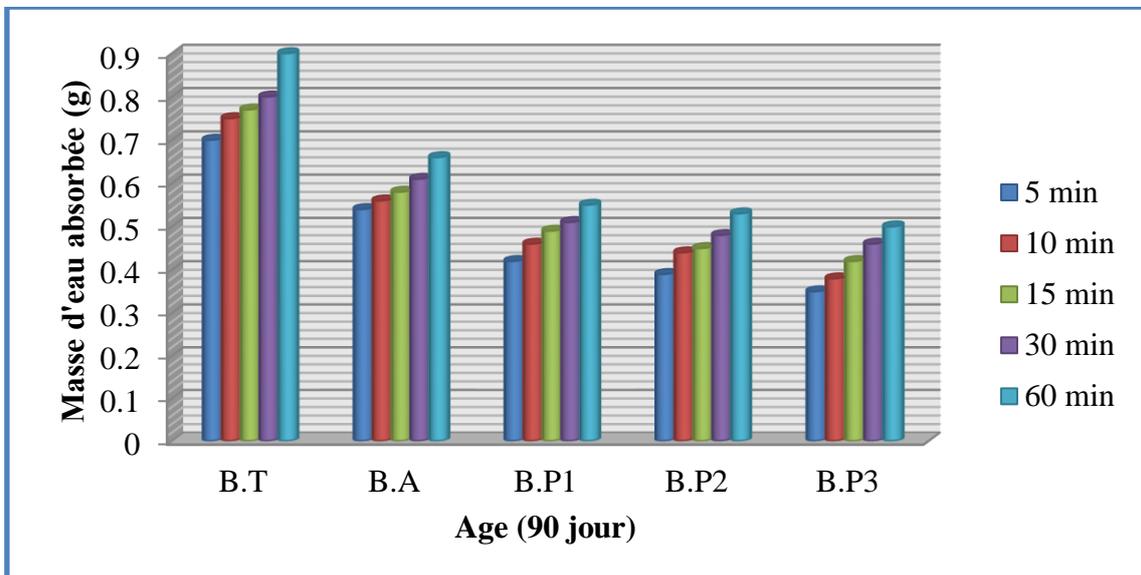


Figure 64: Evolution de la masse d'eau absorbée en fonction de la racine Carrée du temps des bétons.

## Chapitre IV : résultats et interprétations

---

On constate à partir de ces résultats, indiqués sur les Figures(59,60,61,62) que l'absorption de béton témoin est nettement supérieure à celle des bétons qui contiennent un pourcentage de polymère.

Les résultats montrent aussi que plus se trouve les fibres est important dans le béton, plus l'absorption du matériau est faible (empêchée). Alors, la masse d'eau absorbée diminue pour les bétons avec des dosages en défèrent type par rapport aux bétons témoins (sans polymère).

Ceci est expliqué par la grande finesse de polymère (polypropylène et polyéthylène), qui peut augmenter la compacité du béton et donc de minimiser sa porosité capillaire.

L'absorption capillaire est essentiellement concernée par les pores capillaires, de ce fait, la courte durée de l'essai (60minutes) ne permet pas un remplissage des pores de gel qui ont un faible diamètre. La présence des les fibres de polymère dans les bétons favorise le ralentissement de la vitesse d'absorption d'eau.

### 2.3 Mesure la porosité accessible à l'eau

---

Le béton contient des pores de différentes grandeurs. Quelques-uns sont si grands. et qu'ils ne peuvent pas être entièrement remplis d'eau par capillarité. Avec ce procédé, on peut déterminer la porosité accessible à l'eau.

La porosité est une propriété du matériau cimentaire ayant une incidence immédiate sur la résistance et les propriétés de diffusion du béton, et donc, par voie de conséquence sue ca durabilité. Par ailleurs, elle constitué un indicateur de durabilité général qu'il est intéressant de connaître pour pouvoir interpréter certains résultats.

Le principe de cet essai consiste à déterminer le volume des pores en mesurant la masse d'eau que l'on fait pénétrer dans un échantillon de volume connu en le saturant sous vide. Le volume de l'échantillon est évalué par pesé hydraulique.

La figure présente la variation de la porosité accessible en fonction du temps (7, 28, 60,90 jours) et des différents types des bétons dans la matrice cimentaire.

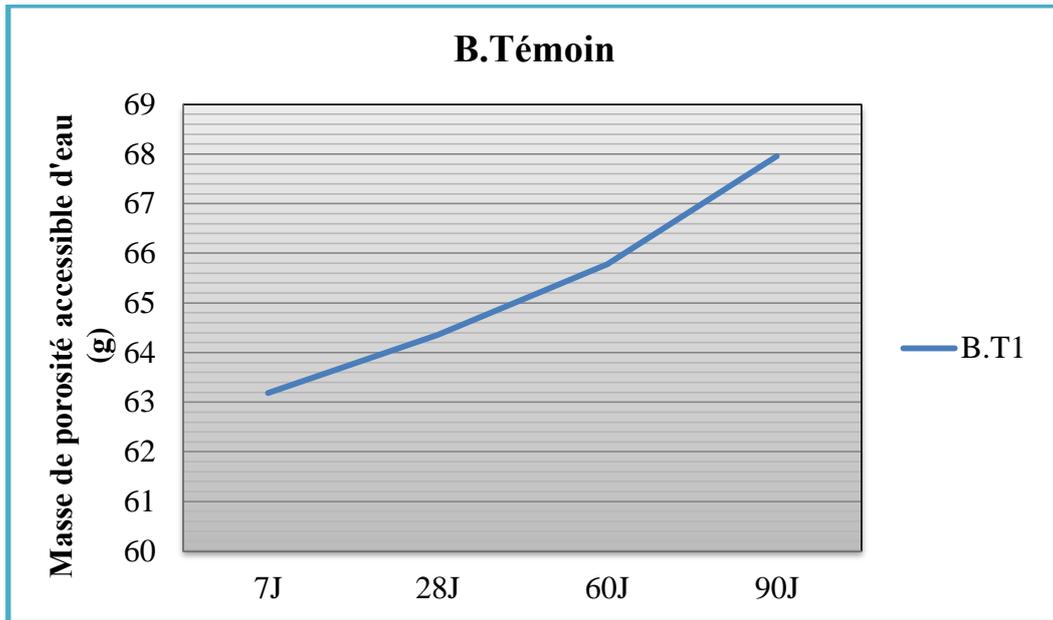


Figure 65: évolution de la porosité accessible d'eau de béton témoin1 en fonction du temps.

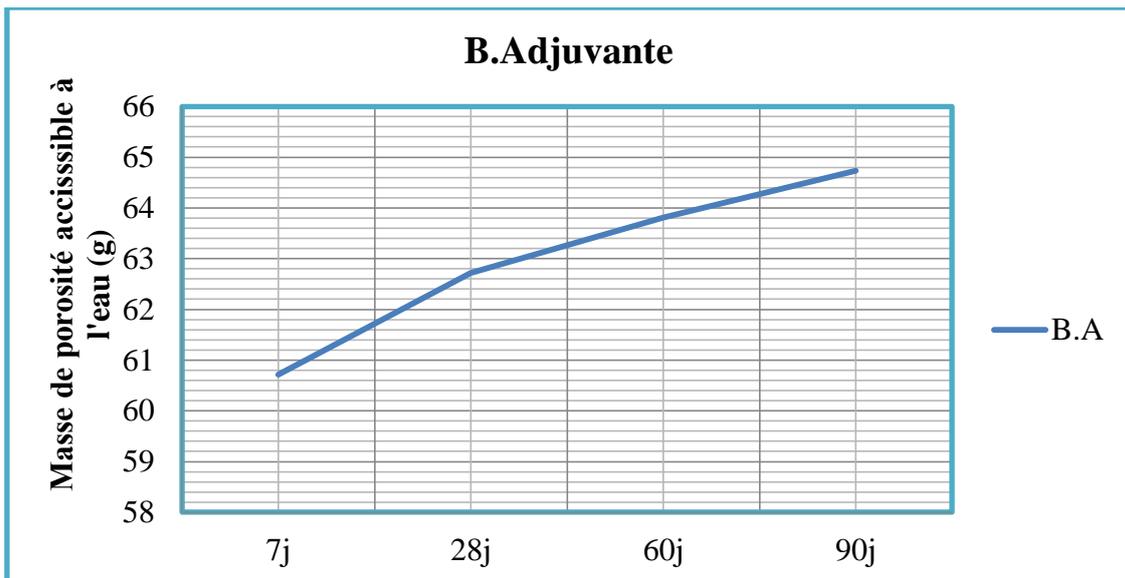


Figure 64: Evolution de la porosité accessible d'eau de béton adjuvant en fonction du temps.

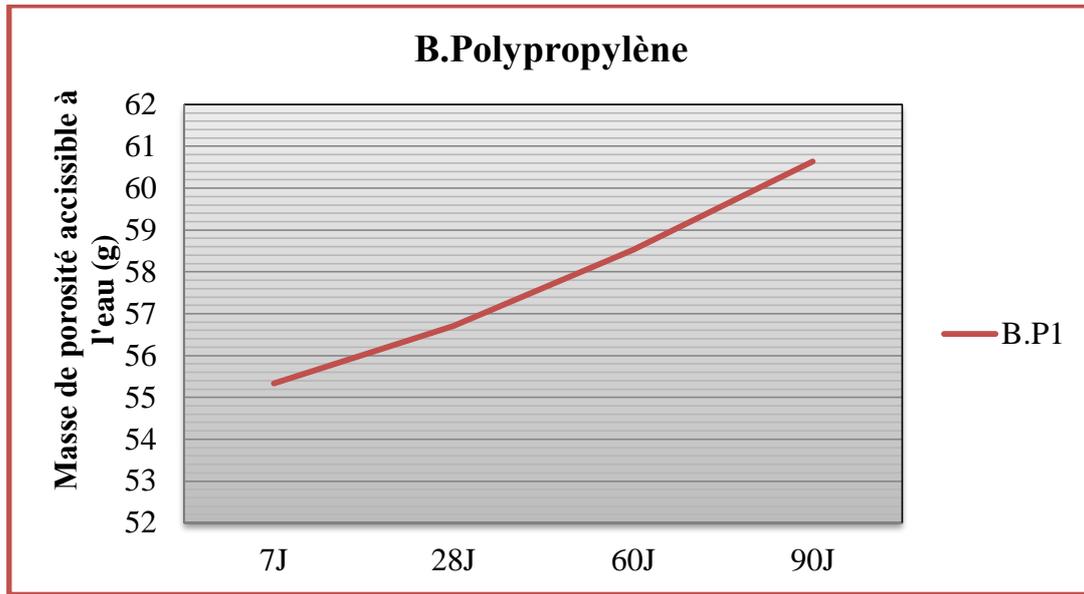


Figure 65: Evolution de la porosité accessible d'eau de béton polypropylène en fonction du temps.

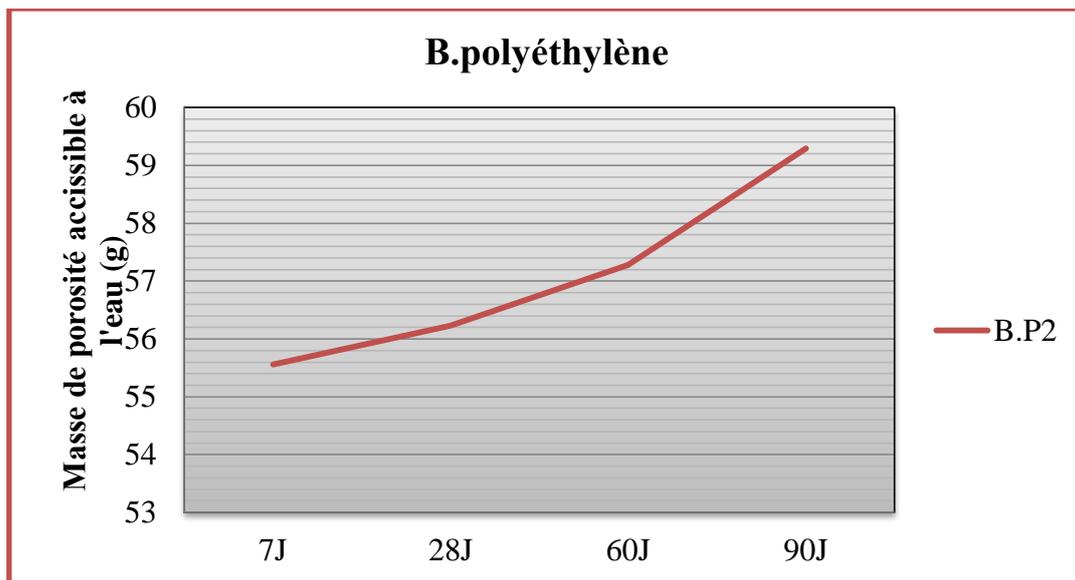


Figure 66: Evolution de la porosité accessible d'eau de béton polyéthylène en fonction du temps.

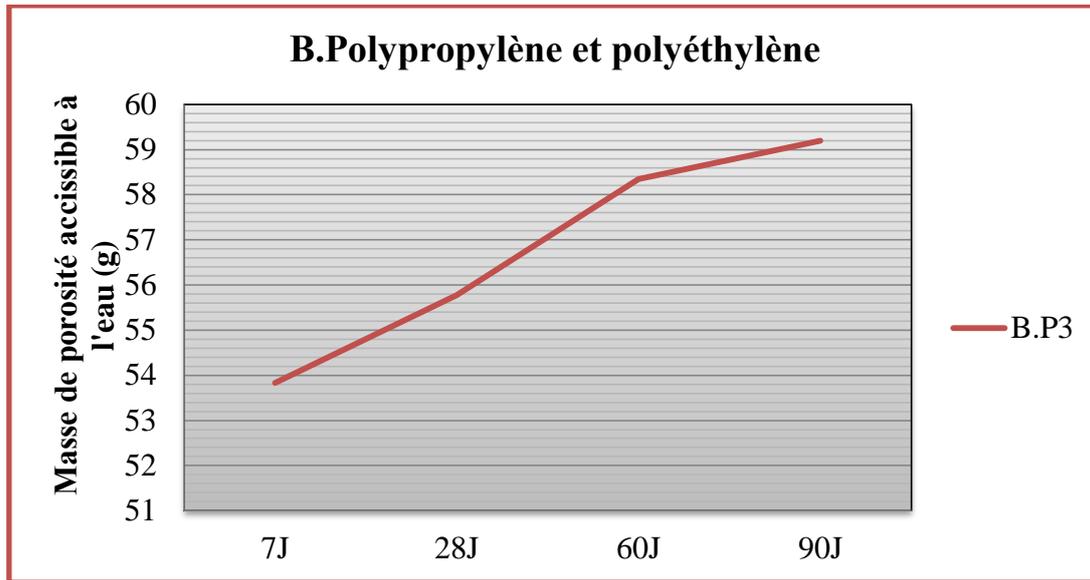


Figure 67: Evolution de la porosité accessible d'eau de béton polypropylène et polyéthylène en fonction du temps.

Après cette expérience, nous observons les résultats montrés dans le diagramme que la porosité accessible très faible dans le type de béton polymère 3 qui Contient les fibres polypropylène et polyéthylène dans les différents jours par rapport des autres types. Et parce que les fibres travaillent à fermer les pores de manière significative, ce qui conduit à la réduction du phénomène de porosité.

Dans les types du béton qui contient un seul type de fibre (p1, p2) Sont de moins en moins différents par rapport aux bétons témoin Et c'est parce que les fibres Elle a beaucoup fermé les pores Par rapport au béton qui ne contient pas des fibres.

Même les résultats du béton avec l'adjuvant convergé avec le béton d'un seul type de fibre Donc l'adjuvant Travaux de rapprochement de fibre.

Finalement nous concluons que les fibres et l'adjuvant sont très importants pour diminuer l'effet de la porosité dans le béton et les jours se sont des paramètres ce qui change sa croissance l'effet de la porosité dans un type du béton.

## *Conclusion générale*

Après ces études, nous avons conclu que les additifs supplémentaires dans le mélange de béton jouent un rôle important dans la modification des propriétés physiques et mécaniques du mélange. Et cela le rend différent du béton ordinaire lorsque les additifs sont différents du béton.

Dans cette étude, qui repose sur deux types des fibres polyéthylène et polypropylène, nous les avons ajoutés au béton afin que nous puissions voir à quel point il influencé le comportement du béton par rapport le béton ordinaire .

En premier nous avons fait des essais sur les matériaux utilisés pour la confection des différents type du béton et on a décrit les différents matériaux utilisé comme le ciment, sable, gravier et l'eau pour connaître les propriétés physique et mécanique de chaque composant , Nous avons également identifié chaque fibre avant sont utilisation .

Ensuite on a entamé les différents essais à savoir la résistance en compression mécanique la porosité accessible à l'eau et l'absorption.

À partir de cette étude expérimentale, nous avons pu tirer les conclusions suivantes:

- ✚ Après les résultats d'essai de cône d'abrams , Nous avons constaté que le béton contient les fibres et l'adjuvant est plastique par rapport a béton ordinaire qui est ferme, Ceci est motivé par des ajouts Ce qui a changé l'état du béton.
- ✚ La résistance à la compression donne des résultats très importants sur les bétons qui contiennent les fibres polyéthylène ou polypropylène ou les deux à la fois en fonction de l'âge, Ces résultats sont également utilisés pour qualifier et quantifier l'efficacité des additions plastiques.
- ✚ On a constaté que la porosité est plus importante pour le béton ordinaire que celle du béton avec fibres. De même pour l'absorption on a constaté les mêmes résultats.
- ✚ Ce travail que nous avons effectué ne présente qu'une goutte d'eau ans le domaine des bétons à base des polymères et même pour le béton ordinaire nous souhaitant que se travail sera une base pour d'autre travaux dans ce domaine et un bon support pour les futures étudiants.
- ✚ Ce travail nous permet de mettre en pratique tous ce que nous avons appris durant notre cursus universitaire et nous souhaitant qu'il soit un point de départ pour notre vie professionnel.

## *Référence bibliographique*

- [1] <https://www.universalis.fr/encyclopedie/beton/1-histoire-du-beton/>
- [2] <https://www.futura-sciences.com/maison/definitions/batiment-beton-5834/>
- [3] <https://www.google.com>
- [4] [https://www.univ-setif.dz/facultes/ft/externe/departements/gc/chapitre\\_les%20granulats.pdf](https://www.univ-setif.dz/facultes/ft/externe/departements/gc/chapitre_les%20granulats.pdf)
- [5] <https://www.civilmania.com/topic/19135-les-granulats-classification-des-granulats.>
- [6] <https://www.aquaportail.com/definition-5792.>
- [7] <http://www.guidebeton.com/eau-gachage>
- [8] [https://www.m-habitat.fr/terrassment-et-fondation/maconnerie/les-adjuvants-pour-beton-4019\\_A](https://www.m-habitat.fr/terrassment-et-fondation/maconnerie/les-adjuvants-pour-beton-4019_A)
- [9] [https://www.m-habitat.fr/terrassment-et-fondation/maconnerie/le-beton-leger-4037\\_A](https://www.m-habitat.fr/terrassment-et-fondation/maconnerie/le-beton-leger-4037_A)
- [10] <https://www.artisanbeton.fr/beton-leger.html>
- [11] <http://www.planete-tp.com/beton-arme-a684.html>
- [12] <https://travauxbeton.fr/beton-precontraint/>
- [13] <https://www.forumconstruire.com/guides/guide-guide-beton/beton-haute-performances-bhp-hautes-performances-bthp.php>
- [14] [https://www.m-habitat.fr/terrassment-et-fondation/maconnerie/le-beton-autoplaçant-4037\\_A](https://www.m-habitat.fr/terrassment-et-fondation/maconnerie/le-beton-autoplaçant-4037_A)
- [15] <https://construction-maison.ooreka.fr/astuce/voir/484249/beton-projete>
- [16] <https://www.betonexpert.fr/beton-colore.html>
- [17] <https://www.deco.fr/actualite-deco/401240-beton-cire.html>
- [18] [https://www.m-habitat.fr/terrassment-et-fondation/maconnerie/le-beton-lourd-4038\\_A](https://www.m-habitat.fr/terrassment-et-fondation/maconnerie/le-beton-lourd-4038_A)
- [19] <https://moncoachbrico.com/beton-decoratif/>

- [20] <https://amenagement-de-jardin.ooreka.fr/astuce/voir/746903/beton-bitumineux>
- [21] <http://www.redecouvrirlebeton.ca/fr/developpement-durable/un-meilleur-materiau-de-construction/les-avantages-du-beton>
- [22] Cherchari Saadia, « Étude comparative du comportement d'un béton polymère à matrice organique thermodurcissable et thermoplastique », mémoire master, université de M'sila, 2016
- [23] ] <http://chimie.sup.pagesperso-orange.fr/polymeres/GENERALITESPOLYMERES.html>
- [24] I. Teraoka, Polymer Solutions, An introduction to physical properties, Ed. Polytechnic University Brooklyn, New York, (2002).
- [25] [campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap3/site/html/cours.pdf](http://campus.cerimes.fr/odontologie/enseignement/chap3/site/html/cours.pdf)
- [26] <http://chimie.sup.pagesperso-orange.fr/polymeres/GENERALITESPOLYMERES.html>
- [27] <https://www.encyclo-ecolo.com/Polym%C3%A8re>
- [28] <http://dSPACE.univ-tlemcen.dz/bitstream/112/1084/6/chapitre1.pdf>
- [29] <http://excerpts.numilog.com/books/9782100581672.pdf>
- [30] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Polypropylène\\_-\\_polyéthylène](http://fr.wikipedia.org/wiki/Polypropylène_-_polyéthylène) .
- [31] D. C. MILES et J. H. BRISTON, « Technologie des polymères », Traduit par P. T. MAC et D. V. QUANG, Dunod, Paris, (1968), pp : 133-160.
- [32] [http://fr.wikipedia.org/wiki/Polyéthylène\\_-\\_polypropylène](http://fr.wikipedia.org/wiki/Polyéthylène_-_polypropylène) .
- [33] : « Connaissance de polyéthylène », Documentation technique de la société ELF ATCHEM, octobre 1995.
- [34] : E. POSTAIRE, « Les matières plastiques à usage pharmaceutique », Edition médicales internationales, Paris, (2000), pp: 145.
- [35] <http://www.beton-imprime-technologie.info/mur-beton.html>.
- [36] Rachid Berbaoui, « identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaire à base polymère », thèse de doctorat, université du Maine option génie mécanique, janvier 2010.

[37] LakelAdel, « Évaluation de la dégradation de propriétés et le comportement du béton polymère à renfort de fibres végétales et additifs minéraux », mémoire master, université de M'sila, Juin 2012.

[38] J.M.L Reis, «Fracture mechanics of polymerconcrete». PhD. Thesis, Université de Porto, 2003.

[39] ROSSI, P. ; HARROUCHE, N. ; "Comportement mécaniques des bétons armé de fibres métalliques utilisés dans les structures en béton armé et précontraint", N° 479, 1989.

[40] Dossier-technique- [poly composite]

[41] Oussama Elalaoui, « optimisation de la formulation et de tenue aux hautes températures d'un béton à base d'époxyde », thèse de doctorat, université de Tunis ELManar, février 2012.

[42] Feldman, R.F. and Huang, C.Y. (1985) Properties of Portland Cement-Silica Fume Pastes Porosity and Surface Properties. Cement and Concrete Research, 15, 765-774. [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(85\)90141-3](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(85)90141-3).

# ANNEXE A

TP 9

LEFFEBVRE Olivier  
MORTIER Claude

DOCUMENT ELEVE

**LABORATOIRE**

**MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE**  
(NF P)

**MODE OPERATOIRE**

## But de l'essai :

Cet essai permet de déterminer la **masse volumique absolue** d'un corps (sable, gravier, ...), c'est à dire la masse en t (tonne), de ce corps pour 1 m<sup>3</sup> de volume, mais uniquement la masse des différents grains constituant le granulat, c'est à dire que l'on ne tient absolument pas compte des vides qui peuvent être situés entre les grains. Cette masse volumique absolue est appelée **ps** (rau).

## Définition :

La **masse volumique absolue** est donc la masse du matériau par unité de volume, exprimée en t/m<sup>3</sup>, en kg/dm<sup>3</sup> ou en g/cm<sup>3</sup>. (rappel 1 t/m<sup>3</sup> = 1 g/cm<sup>3</sup>). Cette masse volumique n'intègre que les grains de l'agrégat, donc sans les vides compris entre ces grains.

La masse volumique absolue a la même valeur que la densité d'un même matériau, la seule différence étant que la densité n'a pas d'unité.

## Principe de l'essai :

En partant d'un masse d'agrégat et en le plongeant dans un volume d'eau, on obtiendra la masse volumique absolue de ce dernier par la division de cette masse par la différence des volumes.

$$ps = \frac{M}{V2 - V1} \quad \text{en t / m}^3$$

Avec : - ps = masse volumique absolue

- M = masse du matériau étudié ( en t, kg, g )

- V1 = volume dans l'éprouvette avant introduction de la masse d'agrégat

- V2 = volume dans l'éprouvette après introduction de la masse d'agrégat

## Matériels utilisés :

Le matériel est très limité, et se compose de :  
- une éprouvette graduée (environ 500 cm<sup>3</sup>)

- une balance

Conduite de l'essai :

Il faudra procéder comme suit :

- ①. Remplir une éprouvette avec un volume d'eau  $V_1$  et en noter sa valeur
- ②. Peser un échantillon sec de granulats (environ 300 g)
- ③. Introduire l'échantillon dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer les bulles d'air
- ④. Repérer la valeur du nouveau volume et la noter
- ⑤. Effectuer les calculs

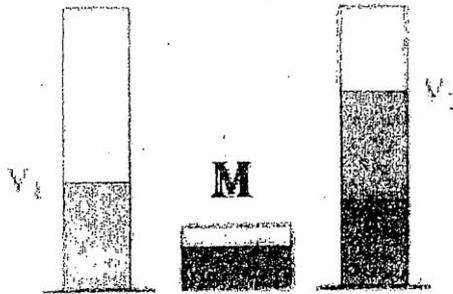


Tableau type :

$V_1$	$M$	$V_2$	$\rho_s$

Avec :  $\rho_s$  = masse volumique absolue

$M$  = masse du matériau étudié (en t, kg, g)

$V_1$  = volume dans l'éprouvette avant introduction de la masse d'agrégat

$V_2$  = volume dans l'éprouvette après introduction de la masse d'agrégat

méthode de pycnomètre :

le pycnomètre est une sorte de fiole jaugée de 200 cm<sup>3</sup>. Il permet de mesurer des volumes avec une grande précision

je remplis le pycnomètre jusqu'au trait de jauge : je mesure la masse  $M_1$  de l'ensemble. Je mesure la même  $M_2$  d'une certaine quantité de granulats (environ 50g) j'introduis cette masse  $M_2$  dans le pycnomètre vide d'eau. Je complète avec de l'eau jusqu'au trait de jauge et agitant avec une baguette de verre pour supprimer les bulles d'air. Je mesure  $M_3$  de l'ensemble. On déduit la masse volumique absolue  $\rho_{abs}$  de la

# ANNEXE B

Centre universitaire d'ain témouchent  
Institut des sciences et de la technologie  
Département de génie civil  
TP de matériaux de construction

## TENEUR EN EAU ET FOISONNEMENT DU SABLE

### TENEUR EN EAU

#### 1. DEFINITION

La teneur en eau d'un granulat ou d'un sol est le pourcentage d'eau (**en masse**) par rapport au matériau sec

#### 2. PRINCIPE DE DETERMINATION

Il existe 2 possibilités :

- # Sécher complètement le granulat,
- # Faire entrer l'eau qu'il contient dans une réaction chimique.

##### 2.1. Première méthode :

- # Peser l'échantillon humide : **Mh**
- # Placer l'échantillon dans un récipient métallique ou en verre,
- # Faire sécher le matériau :
  - \* A l'étuve à 105 - 110° pendant 24 heures : grande précision pour quantités importantes,
- # Peser l'échantillon sec : **Ms**,

$$\omega \% = \frac{Mh - Ms}{Ms} * 100$$

### FOISONNEMENT DU SABLE

#### 1. DEFINITION

C'est le phénomène de variation de la masse volumique apparente du sable en fonction de sa teneur en eau.

## 2. PRINCIPE DE DETERMINATION

# Peser **2000 g** de sable sec ( $\omega = 0\%$ ). Déterminer la masse volumique apparente du matériau selon la méthode traditionnelle : **MVA<sub>0</sub>**.

# Ajouter **1 %** d'eau soit **20 g** aux **2000 g** de sable. Bien mélanger et déterminer la nouvelle masse volumique apparente humide **MVA<sub>1</sub>**.

# Ajouter à nouveau **1 %** d'eau et déterminer **MVA<sub>2</sub>**.

# Et ainsi de suite pour des valeurs croissantes de  $\omega$ .

## 3. RESULTATS

Les résultats obtenus sont portés sur un graphique.

\* En abscisse : Teneur en eau.

\* En ordonnée : Masse volumique apparente.

Teneur en eau(%)									
Masse									
Volume									
Masse volumique apparente									

Le coefficient de foisonnement du sable  $f$  est :

$$f = Mv_{app} / Mv_{appw}(1+Wm) - 1$$

Où

$Mv_{app}$  : Masse volumique du granulat sec

$Mv_{appw}$  : Masse volumique minimale du sable remanié  
(Valeur lu sur le graphique)

$Wm$  : Teneur en eau correspondante (%)

## 4. IMPORTANCE DE LA VARIATION

Cette notion de foisonnement du sable est très importante pour les chantiers.

Le sable livré est rarement sec, alors que le dosage donné pour la composition d'un béton prévoit toujours un sable sec.

Il faudra donc corriger ces quantités de sable pour obtenir un béton de qualité.

# ANNEXE C



Centre universitaire d'Ain Témouchent



Institut des Sciences et de la Technologie Département de Génie Civil

## FICHE DE MANIPULATION

### PROPRETE DES GRANULATS

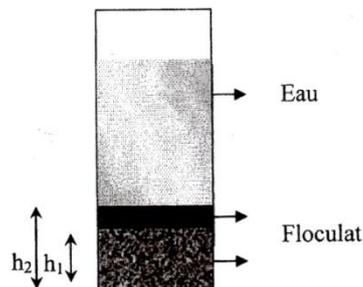
#### ➤ But de l'essai.

Essai d'équivalent de sable est spécifique aux sols grenus, il permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les sols ou agrégats fins, ainsi de mesurer le taux de propreté des sables.

#### • Principe de l'essai :

L'essai d'équivalent de sable s'effectue sur un sable préalablement écrêté sur un tamis de 2mm, il consiste à faire flocculer les éléments fins d'un sable dans une solution. au bout de 20 mn de mise au repos on mesure les éléments suivantes :

- hauteur  $h_1$ : sable propre+ élément fins,
- hauteur  $h_2$ : sable propre seulement.



#### • Appareillage :

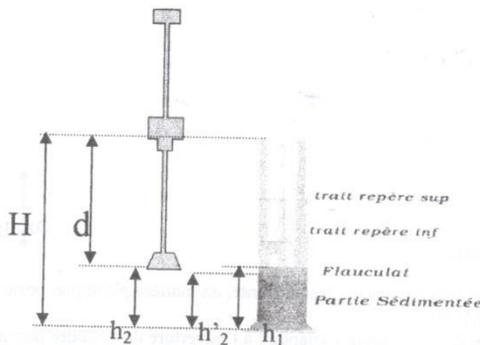
- Une éprouvette cylindrique, transparente, en matière plastique, porte des traits de repères gravés à 100 mm et 380 mm de la base
- un bouchon de caoutchouc s'adaptant à l'ouverture du cylindre permet de fermer l'éprouvette.
- un tube laveur constitué par un tube de laiton ou de cuivre deux trous est foré latéralement à travers la paroi plate de coin de la pointe.
- un flacon de cinq litre contenant une solution lavante (chlorure de calcium+solution aqueuse de formaldéhyde) placé au-dessus de la table de travaille à un mètre de hauteur; relié par un flexible au tube laveur.
- un piston taré de 1 Kg.
- deux récipient de pesé en alliage léger.
- Une balance.
- Un chronomètre.
- Un réglé gradué (500 mm de longueur).
- Un tamis de maille de 2 mm, couvercle et fond.
- Machine à tamiser.
- Une machin d'agitation.
- Un entonnoir.
- Un échantillon de sol.

#### • Mode opératoire :

- ✓ mise en place de la prise d'essai :
- Siphonner la solution lavante dans l'éprouvette cylindrique jusqu'au trait repère inférieur.
- Verser soigneusement 120g du matériau préparé à l'aide de l'entonnoir dans l'éprouvette posée verticalement.

- Taper fortement à plusieurs reprises la base de l'éprouvette sur la pomme de la main pour déloger les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer dix minutes
- ✓ **Agitation de l'éprouvette :**
- A la fin de cette période de dix minutes, boucher l'éprouvette cylindrique à l'aide du bouchon de caoutchouc et lui faire subir, à l'aide de la machine d'agitation, 90 cycles en 30 secondes.
- Remettre l'éprouvette en position verticale sur la table d'essai.
- ✓ **Lavage :**
- Oter le bouchon et le rincer au-dessus de l'éprouvette avec la solution lavante.
- En descendant le tube laveur dans l'éprouvette, rincer les parois, à l'aide de la solution lavante, puis enfoncer le tube laveur jusqu'au fond de l'éprouvette.
- Laver le sable en descendant et remontant le tube, que l'on tourne aussi entre les doigts, ainsi pour faire remonter les éléments argileux.
- Sortir le tube laveur et fermer le robinet lorsque le niveau du liquide atteint le trait repère supérieur.
- ✓ **Mesure:**
- Laisser reposer sans perturbation pendant vingt minutes
- Au bout de ces vingt minutes,
  - mesurer à l'aide du réglez la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du floculat par rapport au fond de l'éprouvette cylindrique.
  - Mesurer également la hauteur  $h_2$ ' du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette cylindrique.
- Descendre doucement le piston taré dans l'éprouvette cylindrique jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. Pendant cette opération, le manchon coulissant sur la tige du piston.
- La distance séparant la face supérieure du manchon de la face inférieure de la tête du piston représente la hauteur de sédiment  $h_2$ .
- Noter la température du contenu de l'éprouvette au degré le plus voisin.

**Calcul :**



L'équivalent de sable d'une prise d'essai est par définition, mesuré au piston et donné par la formule :

$$E.S P = 100 \times \frac{h_2}{h_1}$$

(Voir figure ci-dessus),

$h_2$  : la hauteur de la partie sédimentée mesurée à l'aide du piston.  
 $h_1$  : la hauteur totale de la partie sédimentée plus le floculat.

L'équivalent de sable visuel est donné par la relation suivante :

$$E.S V = 100 \times \frac{h_2'}{h_1}$$

Avec  $h_2'$  : la hauteur de la partie sédimentée mesurée à l'œil.

# ANNEXE D

Centre Universitaire d'Ain T'émouchent

Institut des Sciences et de la Technologie Département de Génie Civil



## FICHE DE MANIPULATION

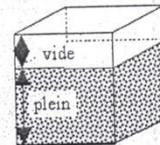


### ABSORPTION DES GRAVIERS

#### ➤ Définition et But de l'essai.

En général la porosité est le rapport du volume des vides au volume du matériau.

$$p = \frac{\text{volume des vides}}{\text{volume total}}$$



#### ❖ Principe :

L'essai consiste à saturer en eau la porosité ouverte des grains constituant le matériau granulaire.

L'immersion du matériau dans une solution aqueuse, permet sa saturation. A froid, l'essai nécessite du temps.

#### ❖ Mode opératoire :

- Préparer un échantillon sec d'1 kg, soit  $M_0$ ,
- Placer l'échantillon dans l'eau froide et porter à ébullition pendant 2 heures, en vue de chasser l'air des pores et les saturer par de l'eau.
- Retirer l'échantillon de l'eau et essuyer à l'aide d'un chiffon chaque grain, peser la nouvelle masse, soit  $M_1$ .
- Calculer la porosité.

$$p(\%) = \frac{M_1 - M_0}{V} \quad \text{avec : } V = \frac{M_0}{M_v} \quad \text{donc : } p(\%) = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \cdot M_v \cdot 100$$

Notons qu'à défaut de valeur plus précise de la  $M_v$ , nous pouvons prendre la valeur de 2.7 g/cm<sup>3</sup>.

# ANNEXE E



Centre Universitaire d'Ain T'émouchent



Institut des Sciences et de la Technologie Département de Génie Civil

## FICHE DE MANIPULATION

### FOISSONNEMENT DU SABLE ET TENEUR EN EAU

#### ➤ Foisonnement du sable :

##### ❖ Principe :

L'essai consiste à mesurer la variation de la masse volumique apparente d'un échantillon de sable en fonction de l'accroissement progressif de sa teneur en eau.

Les résultats sont portés sur un graphique en vue de tracer la courbe de foisonnement du sable testé.

##### ❖ Matériel utilisé :

Le même matériel utilisé pour la mesure de la masse volumique apparente d'un agrégat.

##### ❖ Mode opératoire :

Peser 2 kg de sable sec ( $w = 0\%$ ) et mesurer sa masse volumique apparente (moyenne de 3 essais). Ajouter 1% d'eau soit 20 g à l'échantillon sec (2000 g) et bien mélanger.

Mesurer la nouvelle masse volumique apparente, refaire l'opération pour les valeurs de teneur en eau suivantes : 2%, 3%, 4%, 5%, 7%, 10%.

#### ➤ Teneur en eau :

##### ❖ Définition :

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec.

On peut aussi définir la teneur en eau comme le poids d'eau  $W$  contenu par unité de poids de matériau sec.

$$W = \frac{E}{P_s} = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

$E$  = Poids d'eau dans le matériau.

$P_s$  = Poids du matériau sec.

$P_h$  = Poids matériau humide

Si  $W$  est exprimé en % :

$$W\% = 100 \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

##### ❖ Principe.

Trois procédés peuvent être utilisés pour la mesure de la teneur en eau in situ et/ou au laboratoire.

#### 1. Flambage à l'alcool à brûler :

C'est le procédé couramment désigné sous le nom de "la poêle à frire".

- Peser l'échantillon humide, soit  $M_h$ ,
- Le placer dans un récipient métallique plat, et l'arroser d'alcool à brûler (1/2 l pour 2kg de sable),
- Allumer et agiter avec une tige métallique. Quand l'alcool est éteint, laisser refroidir,
- Répéter l'opération jusqu'à ce que le matériau soit sec, le peser soit  $M_s$ . Déterminer la  $W$ .



## **2. Emploi du carbure de calcium :**

Le carbure de calcium réagit au contact de l'eau pour donner de l'acétylène :



Pour ce faire, on utilise le "Speedy".

- Placer une quantité déterminée du matériau humide à tester dans l'appareil,
- Mettre du carbure de calcium dans le couvercle de l'appareil.

Fermer en évitant que l'échantillon humide ne se mette au contact du carbure avant que le speedy ne soit fermé hermétiquement,

• Retourner l'appareil et l'agiter pour que l'échantillon mouillé et carbure se mélangent dans le récipient étanche. Il se dégage de l'acétylène en quantité d'autant plus grande qu'il y a d'eau dans le matériau humide; la pression créée dans le récipient croît alors avec la teneur en eau,

• Un manomètre commandé par la pression interne est gradué directement en %, donne ainsi par simple lecture la W.

## **3. Séchage à l'étuve :**

• Placer une quantité déterminée du matériau humide à tester dans une boîte à pétri numérotée préalablement et tarée,

• Peser l'ensemble et l'introduire dans une étuve pendant 24 heures sous une température de 105°Celsius,

• Après dessiccation, on pèse l'ensemble une seconde fois,

• déduire les masses humide et sèche de l'échantillon et calculer la W.



# ANNEXE F

DOCUMENT ELEVE

**LABORATOIRE**

**MASSE VOLUMIQUE APPARENTE**  
(NF P)

**MODE OPERATOIRE**

## But de l'essai :

Cet essai permet de déterminer la **masse volumique apparente** d'un corps (sable, ciment, gravier, ...). C'est à dire la masse en t (tonne), de ce corps pour 1 m<sup>3</sup> de volume.  
Cette masse volumique apparente est appelée  $\rho$  (rau).

## Définition :

La **masse volumique apparente** est donc la masse du matériau par unité de volume, exprimée en t/m<sup>3</sup>, en kg/dm<sup>3</sup>, ou en g/cm<sup>3</sup>. (rappel 1 t/m<sup>3</sup> = 1 g/cm<sup>3</sup>). Cette masse volumique intègre les grains de l'agrégat ainsi que les vides compris entre ces grains.  
De ce fait, il ne faut pas la confondre avec la **masse volumique absolue**, qui elle ne tient compte que de la masse des grains constitués et le matériau sans les vides pouvant exister entre les grains.

## Principe de l'essai :

Il suffit de remplir un récipient, dont on connaît le volume, en prenant de grande précautions pour éviter tous phénomènes parasites que pourrait provoquer le tassement, en effet un tassement trop important ou trop faible donnerait un résultat erroné. Pour limiter ce risque d'erreurs, l'essai se fera sur plusieurs pesées, avec lesquels on fera une moyenne. On pèse ensuite l'échantillon, en ayant pris soin de déduire la masse du récipient. Enfin, la masse de l'échantillon est divisé par le volume du récipient. Le résultat final nous donne donc la valeur de la masse volumique apparente du matériau.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad \text{en t / m}^3$$

Avec :  $\rho$  = masse volumique apparente  
 $M$  = masse du matériau étudié ( en t, kg, g )  
 $V$  = volume du récipient ( en m<sup>3</sup>, dm<sup>3</sup>, cm<sup>3</sup> )

## Matériels utilisés :

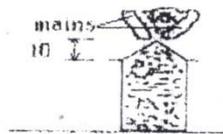
Le matériel est très limité, et se compose de :

- un récipient ( bois ou métal ) de forme cubique ou prismatique
- une balance
- une règle pour arasement du récipient

**Conduite de l'essai :**

Il faudra procéder comme suit :

- ① Prendre un récipient et en calculer son volume
- ② Peser ce récipient et noter sa masse
- ③ Prendre le matériau dans les mains formant un entonnoir
- ④ Placer les deux mains à environ 10 cm au dessus du récipient et laisser le sable s'écouler ni trop vite, ni trop lentement



- ⑤ Laisser couler le matériau toujours au centre du récipient, Jusqu'à ce qu'il déborde tout autour en formant un cône (talus naturel)
- ⑥ Agrafer à la règle avec précaution la partie du matériau dépassant des bords supérieurs du récipient
- ⑦ Peser l'ensemble et noter le résultat
- ⑧ Recommencer l'opération 5 fois
- ⑨ Tous les résultats obtenus, diviser les masses par le volume et faire la moyenne des 5 résultats.

**Tableau type :**

Pesées	Mo	M1	M2	V	$\rho$
1					
2					
3					
4					
5					

MOYENNE : .....

- Avec :
- Mo : masse du récipient
  - M1 : masse de l'échantillon et du récipient
  - M2 : masse de l'échantillon seul ( $M2 = M1 - Mo$ )
  - V : volume du récipient
  - $\rho$  : masse volumique apparente ( $\rho = M / V$ )