



**Ministère de l'Enseignement Supérieure  
et de la Recherche Scientifique**

**Université Mohamed Boudiaf - M'sila**

**Faculté de Technologie**



**Département de GENIE CIVIL**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de  
MASTER**

**FILIERE : Génie Civil**

**SPECIALITE : Matériaux**

**THEME**

***ÉLABORATION D'UN BÉTON LEGER  
À PARTIR DES MATÉRIAUX LOCAUX***

**Dirigé par :**

**Mr.Miloud Beddar**

**Présenté par :**

**Amroune Abd Elmalek**

**Promotion : 2015/2016.**

# REMERCIEMENTS

*Nous tenons à remercier tout premièrement ALLAH le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience , qu'il nous a donné durant toutes ces longues années .*

*Ainsi, nous tenons également à exprimer nos vifs remerciements à notre encadreur Mr beddar Miloud et sans oublier Mr Meddah Abd El aziz pour avoir d'abord proposée ce thème, pour suivi continuel tout le long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessée de nous donner ses conseils.*

*Nous tenons à remercier vivement toutes personnes qui nous ont aidé à élaborer et réaliser ce mémoire, ainsi à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin accomplir ce travail.*

*Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants et le chef de département de génie civil aussi tout la famille du département.*

*Également, un remerciement à tout nos collègues de promotion 2016 pour les bons moments qui nous avons passé ensemble.*

# *dédicaces*

*Je Dédie ce modeste travail.*

*A ma très chère mère.*

*A mon père.*

*A mes grandes mère.*

*A ma grande famille.*

*A mes frères et sœurs qui m'ont encouragés à  
réalisé ce travail.*

*A mes amis.*

*A tous les enseignant du département  
de Génie Civil.*

*A ma promotion 2016.*

*Abd el malek.*

<b>Sommaire</b>	<b>Pages</b>
. Introduction générale.....	1
<b>Chapitre I: Synthèse bibliographique</b>	
. Introduction.....	2
I.1. Bétons légers.....	2
I.2. Bétons cellulaires.....	3
I.2.2. le classification.....	3
I.2.3. les propriétés principales.....	3
I.3. Granulats légers.....	4
I.3. 1. Porosité et densité des bétons et granulats légers .....	4
I.3. 2. Fabrication des granulats légers.....	5
I.3. 3. Absorption d'eau des granulats légers.....	6
I.4. Nouveaux granulats.....	7
I.5. Formulation des bétons légers.....	7
I.5.1. Principe de base.....	7
I.6. Propriétés mécaniques des bétons légers .....	7
I.6.1. La masse volumique et résistance mécanique.....	8
I.6.2. Module élastique .....	9
I.6. 3. Retrait.....	10
I.6. 4. Isolation.....	11
I.6. 5. Adhérence pâte-granulats légers.....	11
I.6. 6. Durcissement du béton léger.....	12
I.6. 7. La capacité d'isolation thermique.....	12
I.7. Conclusion .....	12
<b>Chapitre II: généralité sur le béton et ses composants</b>	
Introduction.....	13
II.1 Définition du .....	13
II.2 Comportement du .....	13
II.3 L'importance du .....	13
II.4 Structure du béton.....	13
II.5 Propriété du béton.....	14
II.5.1 Propriété du béton frais.....	14
II.5.2 Propriété du béton durci.....	16
II.6 Composition du béton.....	20
II.6.1 Introduction.....	20
II.6.2 Détermination du dosage en ciment.....	20
II.6.3 Dosages en eau.....	21
II.6.4 Détermination du dosage en granulats.....	22
II.7 Caractéristiques des matériaux utilisés pour la composition d'un béton.....	25
II.7.1 Les granulats.....	25
II.7.2 Les liants.....	28
II.7.3 Eau de gâchage.....	28
II.7.4 Les adjuvants.....	29

## Chapitre III: Caractéristiques des matériaux utilisés et procédures expérimentales

Introduction.....	30
III.1 Les pierres concassées.....	30
III.1.1 Caractéristiques de pierres concassées utilise.....	30
III.2. Le sable.....	35
III.2.1. Caractéristiques du sable utilise.....	35
III.3 Le ciment.....	40
III.4. Les déchets PVC et PEHD.....	41
III.4.1. Déchets PVC.....	41
III.4.2. Le polyéthylène haut densité(PEHD).....	42
III.4.3.Méthode d'utilisation des déchets de PVC et PEHD.....	43
III.4.4.La masse volumique absolue et apparent de PVC et PEHD.....	45
III.5 Détermination de la composition du béton.....	49
III.5.1. Quelques méthodes de composition de béton .....	49
III.5.2. Formulation de béton (DREUX-GORISSE.) .....	49
III.5.3. Dosage des composants du béton études .....	51
III.6 Préparation du mélange.....	52
III.7 Les différents essais sur le béton.....	53
III.7.1 Essais sur le béton frais.....	53
III.7.2 Les essais sur béton durci.....	54

## Chapitre IV: Résultats et discussions

Introduction.....	59
IV.1 Les observations expérimentations sur le béton à l'états frai.....	59
IV.1.1. La morphologie de béton à l'états frai.....	59
IV.2. La masse volumique .....	63
IV.3 La résistance de compression.....	66
IV.3.1. Béton à granulats PVC .....	66
IV.3.2. Béton à granulats PEHD.....	68
IV.4. La résistance de traction.....	71
IV.4.1. Béton à granulats PVC.....	71
IV.4.2. Béton à granulats PEHD.....	72
IV.5. Isolation acoustique.....	77
IV.5.1. Béton à granulats PVC.....	77
IV.5.2. Béton à granulats PEHD.....	78
IV.6. La porosité .....	82
IV.6.1. Béton à granulats PVC.....	82
IV.6.2. Béton à granulats PEHD.....	83
IV.7. Capacité d'absorption d'eau massique .....	85
IV.7.1. Béton à granulats PVC.....	85
IV.7.2. Béton à granulats PEHD.....	86
IV.8. Influence granulats de PVC et PEHD sur la fissuration.....	88
IV.9. Influence de chaleur sur le composite .....	89
IV.10. Influence de traitement de granulats de PVC et PEHD sur comportement du béton .....	90
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>93</b>

## Références bibliographiques

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau (II-1):</b> Classe de consistance du béton. ....	15
<b>Tableau (II-2):</b> Coefficient du granulaire.....	21
<b>Tableau (II-3):</b> La valeur K. ....	23
<b>Tableau (II-4):</b> Valeur du coefficient de compacité $\gamma$ .....	24
<b>Tableau (II-5):</b> Classification suivant la granularité. ....	25
<b>Tableau (III-1) :</b> analyse chimique des pierres concassées.....	30
<b>Tableau (III-2) :</b> détermination de l'échantillon de pierre concassée d'après $D_{max}$ .....	30
<b>Tableau (III-3) :</b> Choix des tamis selon le diamètre des grains.....	31
<b>Tableau (III-4) :</b> Analyse granulométrique des pierres concassées.....	32
<b>Tableau (III-5) :</b> masse volumique absolue des pierres concassées.....	33
<b>Tableau (III-6) :</b> la masse volumique apparente des pierres concassées.....	33
<b>Tableau (III-7) :</b> Coefficient d'absorption des pierres concassées.....	34
<b>Tableau (III-8) :</b> teneur en eau des pierres concassées.....	35
<b>Tableau (III-9) :</b> porosité –compacités –indice de vide des pierres concassées.....	35
<b>Tableau (III-10) :</b> composition minéralogique du sable.....	35
<b>Tableau (III-11) :</b> analyse granulométrique du sable.....	36
<b>Tableau (III-12) :</b> La masse volumique absolue de sable.....	37
<b>Tableau (III -13) :</b> Masse volumique apparente du sable.....	37
<b>Tableau (III-14) :</b> teneur en eau du sable. ....	38
<b>Tableau (III-15) :</b> Degré d'absorption d'eau du sable.....	38
<b>Tableau (III-16) :</b> Valeurs d'équivalent de sable.....	40
<b>Tableau (III-17) :</b> Composition chimique de CPJ.....	40
<b>Tableau (III-18) :</b> La masse volumique absolue du ciment.....	41
<b>Tableau (III-19) :</b> masse volumique apparente du ciment.....	41
<b>Tableau (III-20) :</b> masse volumique apparente des granulats PVC avant traitement.....	45
<b>Tableau (III-21) :</b> masse volumique apparente des granulats PVC après traitement.....	45
<b>Tableau (III-22) :</b> masse volumique apparente des granulats PEHD avant traitement.....	45
<b>Tableau (III-23) :</b> masse volumique apparente des granulats PEHD après traitement.....	46
<b>Tableau (III-24) :</b> masse volumique absolue des granulats PVC avant traitement.....	46
<b>Tableau (III-25) :</b> masse volumique absolue des granulats PVC après traitement.....	46
<b>Tableau (III-26) :</b> masse volumique absolue des granulats PEHD avant traitement.....	46
<b>Tableau (III-27) :</b> masse volumique absolue des granulats PEHD après traitement.....	47
<b>Tableau (III-28) :</b> Porosité – compacité –indice de vide du PVC et PEHD avant traitement.....	47
<b>Tableau (III-29):</b> Porosité – compacité –indice de vide du PVC et PEHD après traitement.....	47
<b>Tableau (III-30) :</b> Analyse granulométrique de PVC avant traitement.....	47
<b>Tableau (III-31) :</b> Analyse granulométrique de PVC après traitement.....	48
<b>Tableau (III-32) :</b> Analyse granulométrique de PEHD avant traitement.....	48
<b>Tableau (III-33) :</b> Analyse granulométrique de PEHD après traitement.....	48
<b>Tableau (III-34) :</b> Dosage des composants du béton avant traitement.....	51
<b>Tableau (III-35) :</b> Dosage des composants du béton après traitement.....	52
<b>Tableau (IV-1) :</b> résultat d'essais sur béton frais avant traitement. ....	60
<b>Tableau (IV-2) :</b> résultat d'essais sur béton frais après traitement.....	60
<b>Tableau (IV-3) :</b> la masse volumique de béton.....	63
<b>Tableau (IV-4) :</b> Résistance de compression du béton en granulats PVC avant traitement.....	66
<b>Tableau (IV-5) :</b> Résistance de compression du béton en granulats PVC avant traitement.....	67

<b>Tableau (IV-6) : Résistance de compression du béton en granulats PEHD avant traitement.....</b>	<b>68</b>
<b>Tableau (IV-7) : Résistance de compression du béton en granulats PEHD après traitement.....</b>	<b>69</b>
<b>Tableau (IV-8) : Résistance de traction du béton en granulats PVC avant traitement.....</b>	<b>71</b>
<b>Tableau (IV-9) : Résistance de traction du béton en granulats PVC après traitement.....</b>	<b>71</b>
<b>Tableau (IV-10) : Résistance de traction du béton en granulats PEHD avant traitement.....</b>	<b>72</b>
<b>Tableau (IV-11): Résistance de traction du béton en granulats PEHD après traitement.....</b>	<b>72</b>
<b>Tableau (IV-12) : Vitesse de propagation du sone dans béton en granulats PVC avant traitement.....</b>	<b>77</b>
<b>Tableau (IV-13) : Vitesse de propagation du sone dans béton en granulats PVC après traitement.....</b>	<b>78</b>
<b>Tableau (IV-14) : Vitesse de propagation du sone dans béton en granulats PEHD avant traitement.....</b>	<b>78</b>
<b>Tableau (IV-15) : Vitesse de propagation du sone dans béton en granulats PEHD après traitement.....</b>	<b>79</b>
<b>Tableau (IV-16) : La porosité du béton en granulats PVC avant traitement.....</b>	<b>82</b>
<b>Tableau (IV-17) : La porosité du béton en granulats PVC après traitement.....</b>	<b>82</b>
<b>Tableau (IV-18) : La porosité du béton en granulats PEHD avant traitement.....</b>	<b>83</b>
<b>Tableau (IV-19) : La porosité du béton en granulats PEHD après traitement.....</b>	<b>83</b>
<b>Tableau (IV-20) : L'absorption du béton en granulats PVC avant traitement.....</b>	<b>85</b>
<b>Tableau (IV-21) : L'absorption du béton en granulats PVC après traitement.....</b>	<b>86</b>
<b>Tableau (IV-22) : L'absorption du béton en granulats PEHD avant traitement.....</b>	<b>86</b>
<b>Tableau (IV-23) : L'absorption du béton en granulats PEHD après traitement.....</b>	<b>87</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure (I-1) :</b> Classification des bétons légers.....	02
<b>Figure (I-2) :</b> Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après short et kinniburgh.....	05
<b>Figure (I-3) :</b> Absorption d'eau en fonction du temps des granulats d'argile expansés (Arg) et de cendres volantes frittées (Cv), granulats 4/8 mm, densité apparente $\rho_g$ ; d'après Zhang & Gjorv.....	06
<b>Figure (I-4) :</b> Relation entre la résistance à la compression du béton à 28jours (mesurée sur cubes) et le dosage en ciment des bétons ayant un affaissement de (5cm) et confectionnés avec différents types de granulats légers.....	08
<b>Figure (I-5):</b> Relation entre la résistance en compression à 28j et la densité du béton frais d'un mélange avec des granulats légers.....	09
<b>Figure (I-6):</b> Résultats de modules élastiques de bétons légers à 28 j d'après plusieurs auteurs.....	10
<b>Figure (I-7) :</b> Retrait endogène en fonction du temps.....	10
<b>Figure (I-8) :</b> Interface pâte-granulats et mécanismes d'interaction identifiés, d'après Zhang & Gjorv.....	11
 <b>Figure (II-1):</b> constitution du béton.....	14
<b>Figure (II-2):</b> traction direct.....	17
<b>Figure (II-3):</b> traction par fendage.....	17
<b>Figure (II-4):</b> Traction par flexion.....	18
<b>Figure (II-5):</b> Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée l'affaissement au cône.....	21
<b>Figure (II-6):</b> Variations relatives moyennes du dosage en eau E et du nombre de chocs du test d'ouvrabilité C.E.S. en fonction de l'affaissement, dans le cas des béton composés suivent la présente méthode (le dosage en sable augmentant quand le dosage en ciment diminue).....	22
<b>Figure (II-7):</b> Variation suivant si variation de la correction à apporter au dosage en eau si la dimension maximale des granulats est différente de 25mm.....	22
<b>Figure (II-8):</b> Fuseau de spécification Russe des graviers. ....	26
<b>Figure (II-9):</b> Fuseau de spécification Russe pour les sable admissibles aux bétons. ....	27
<b>Figure (II-10):</b> Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton. ....	27
 <b>Figure (III-1):</b> traitement des déchets PVC et PEHD.....	44
<b>Figure (III-2):</b> Malaxeur.....	52
<b>Figure (III-3):</b> Cône d'ABRAMS. ....	53
<b>Figure (III-4):</b> Aéromètre à béton.....	54
<b>Figure (III-5) :</b> Presse de compression.....	54
<b>Figure (III-6):</b> Presse de traction.....	55
<b>Figure (III-7) :</b> Appareil de mesure.....	56
<b>Figure (III-8) :</b> cuisson des éprouvettes dans l'eau.....	57
<b>Figure (III-9) :</b> balance de la mesure du masse volumique par déplacement d'eau.....	57
<b>Figure (III-10) :</b> L'absorption d'eau par immersion.....	57
<b>Figure (III-11) :</b> courbe granulométrie de composition de béton.....	58
 <b>Figure (IV-1) :</b> la descende de granulats de PVC et PEHD après traitement.....	59
<b>Figure (IV-2) :</b> la descende de granulats de PVC et PEHD avant traitement.....	61
<b>Figure (IV-3) :</b> l'affaissement en fonction du pourcentage de granulats PVC et PEHD.....	61
<b>Figure (IV-4) :</b> la densité en fonction du pourcentage de granulats PVC et PEHD.....	61
<b>Figure (IV-5) :</b> Les granulats de PEHD avant traitement.....	62
<b>Figure (IV-6) :</b> Les granulats de PEHD après traitement.....	62



<b>Figure (IV-7) : Les granulats de PVC avant traitement.....</b>	<b>62</b>
<b>Figure (IV-8) : Les granulats de PVC après traitemen.....</b>	<b>62</b>
<b>Figure (IV-9) : La teneur en air en fonction de pourcentage de granulats PVC et PEHD.....</b>	<b>62</b>
<b>Figure( IV-10) : La variation de la densité du béton de granulats PVC en fonction de temps....</b>	<b>64</b>
<b>Figure( IV-11) : Evolution de la densité en fonction du pourcentage de granulats PVC avant et après traitement.....</b>	<b>64</b>
<b>Figure (IV-12) : La variation de la densité du béton de granulats PEHD en fonction de temps.....</b>	<b>65</b>
<b>Figure ( IV-13) : Evolution de la densité en fonction du pourcentage de granulats PEHD avant et après traitement.....</b>	<b>65</b>
<b>Figure (IV-14) : La résistance de la compression en fonction du temps.....</b>	<b>67</b>
<b>Figure (IV-15) : La variation de la résistance de compression en fonction du pourcentage de granulats PVC avant et après traitement.....</b>	<b>68</b>
<b>Figure (IV-16) : La variation de la résistance de compression en fonction de temps.....</b>	<b>69</b>
<b>Figure (IV-17) : Evolution de la résistance de compression en fonction du pourcentage de granulats PEHD avant et après traitement.....</b>	<b>70</b>
<b>Figure(IV-18) : La variation de la résistance de traction du béton de granulats PVC en fonction de temps.....</b>	<b>73</b>
<b>Figure (IV-19) : Evolution de la résistance de traction en fonction du pourcentage de granulats PVC avant et après traitement.....</b>	<b>73</b>
<b>Figure (IV-20) : La variation de la résistance de traction du béton de granulats PEHD en fonction de temps.....</b>	<b>74</b>
<b>Figure (IV-21) : Evolution de la résistance de traction en fonction du pourcentage de granulats PEHD.....</b>	<b>74</b>
<b>Figure (IV-22) : La perte de la résistance de compression en fonction de dosage de granulats PVC.....</b>	<b>75</b>
<b>Figure (IV-23) : La perte de la résistance de compression en fonction de dosage de granulats PEHD.....</b>	<b>75</b>
<b>Figure (IV-24) : La perte de la résistance de traction en fonction de dosage de granulats PVC.....</b>	<b>76</b>
<b>Figure (IV-25) : La perte de résistance de traction en fonction de dosage de granulats PEHD.....</b>	<b>76</b>
<b>Figure (IV-26) : La variation de propagation du sone en fonction du pourcentage de granulats PVC.....</b>	<b>79</b>
<b>Figure (IV-27) : La vitesse de propagation du sone en fonction du pourcentage de granulats PVC. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figure (IV-28) : La vitesse de propagation du sone en fonction du pourcentage de granulats PEHD.....</b>	<b>80</b>
<b>Figure (IV-29) : La vitesse de propagation du sone en fonction du pourcentage de granulats PEHD avant et après traitement.....</b>	<b>81</b>
<b>Figure (IV-30) : La porosité en fonction du pourcentage de granulats PVC avant et après traitement.....</b>	<b>84</b>
<b>Figure (IV-31) : La porosité en fonction du pourcentage de granulats PEHD avant et après traitement.....</b>	<b>84</b>
<b>Figure (IV-32) : L'absorption en fonction du pourcentage de granulats PVC avant et après traitement.....</b>	<b>87</b>
<b>Figure (IV-33) : L'absorption en fonction du pourcentage de granulats PEHD avant et après traitement. ....</b>	<b>87</b>
<b>Figure (IV-34) : Etat de la fissuration d'éprouvettes après l'écrasement.....</b>	<b>88</b>
<b>Figure (IV-35) : Etat de sur face d'éprouvettes après l'écrasement.....</b>	<b>89</b>
<b>Figure (IV-36) : Etat d'éprouvettes après chauffage.....</b>	<b>89</b>

<b>Figure (IV-37) :</b> éprouvette de béton de 30% de granulats de PVC avant traitement. ....	90
<b>Figure (IV-38) :</b> éprouvette de béton de 30% de granulats de PVC avant traitement.....	90
<b>Figure (IV-39) :</b> éprouvette de béton de 100% de granulats de PVC avant traitement. ....	90
<b>Figure (IV-40) :</b> éprouvette de béton de 100% de granulats de PVC avant traitement. ....	90
<b>Figure (IV-41):</b> éprouvette de béton de 50% de granulats de PEHD avant traitement. ....	91
<b>Figure (IV-42):</b> éprouvette de béton de 50% de granulats de PEHD après traitement. ....	91
<b>Figure (IV-43):</b> éprouvette de béton de 100% de granulats de PEHD avant traitement.....	91
<b>Figure (IV-44):</b> éprouvette de béton de 100% de granulats de PEHD après traitement. ....	91
<b>Figure (IV-45) :</b> Les éprouvettes après l'écrasement.....	92

## ملخص :

إن الأبحاث الحالية في مجال مواد البناء موجهة إلى تثمين المواد الخفيفة الطبيعية أو الاصطناعية لضمان تخفيف بعض عناصر البناء و من ناحية أخرى، توفير الطاقة من خلال تخفيض التوصيل الحراري.

هذه الدراسة إمكانية لتطوير الخرسانة خفيفة الوزن إنطلاقاً من إستعادة نفايات أنابيب الفينيل متعدد الكلوريد وأنابيب متعدد الإيثيلان عالي الكثافة، وأضيفت هذه النفايات إلى الخرسانة كبديل جزئي أو كلي من إجمالي حجم الحصى.

على الرغم من التأثير السلبي على المقاومة الميكانيكية للضغط لدمج حبيبات الفينيل متعدد الكلوريد ومتعدد الإيثيلان عالي الكثافة في الخرسانة، إلا أنها تمثل طريقة طموحة لإسترجاع النفايات في مجال تصنيع مواد البناء و خاصة تلك التي لا تتطلب مقاومة عالية للضغط.

إذا قلنا أن دمج حبيبات الفينيل متعدد الكلوريد و متعدد الإيثيلان عالي الكثافة في الخرسانة يؤثر سلباً على الخواص الميكانيكية للخرسانة، هذا لا يعني أنه لا يوجد لديه تأثير إيجابي حيث أنه يقلل من ظهور التشققات ، و يحسن العزل الحراري والصوتي، و إمتصاص الضغط.

## Résumé :

La recherche actuelle dans le domaine des matériaux de construction est orientée vers les matériaux légers naturels ou artificiels pour assurer l'allègement de certains éléments de construction et d'autre part, une économie d'énergie par la réduction de la conductivité thermique.

Cette étude la possibilité de élaboration un béton léger à partir de valorisation des déchets de tuyaux en Polychlorure de vinyle (PVC) et de tuyaux en polyéthylène haut densité (PEHD), ces déchets ont été ajouté au béton en remplant partiel du volume total du gravier.

L'incorporation des granulats de PVC et PEHD dans le béton, malgré son influence négatif sur la résistance mécanique à la pression, il représente une méthode ambitieuse pour la valorisation des déchets dans le domaine de la fabrication des matériaux de construction surtout celle qui ne nécessite pas une grande résistance à la pression.

Si nous disons que l'intégration des granules de PVC et PEHD dans le béton affecte négativement sur les propriétés mécanique du béton, ça ne veut pas dire qu'il n'a pas d'influence positif puisque, il réduit les fissurations, et amélioré l'isolation thermique et acoustique, et sont absorber à la pression.

## **Abstract :**

The Current research in the field of building materials to the development of natural or artificial light materials security alleviate some construction elements on the other hand, energy saving by reducing the thermal conductivity.

This study the possibility of developing a lightweight concrete from valuation of waste pipes polyvinyl chloride pipe (PVC) and high density polyethylene (HDPE) pipe, this waste was added to the concrete part or in full as an alternative of the total volume of gravel.

Despite the negative impact on the mechanical resistance to pressure for the integration of multi-grain vinyl chloride and high-density multi-Alaathelan in concrete, but it represents an ambitious way to retrieve waste in the manufacture of building materials, especially those that do not require high resistance to pressure.

The incorporation of PVC and HDPE aggregates in concrete, despite its negative influence on the mechanical resistance to pressure, it represents an ambitious approach to the recovery of waste in the field of manufacture of building materials , especially those that do not require high resistance to pressure.

If we say that the integration of PVC and HDPE granules in the concrete negative effect on the mechanical properties of concrete, it does not mean it has no positive effect since it reduces cracking, and improved thermal and acoustic insulation, and are absorbing the pressure.

## **Introduction générale**

La recherche actuelle dans le domaine des matériaux de construction est orientée vers les granulats légers naturels ou artificiels pour créer de nouvelles ressources de granulats afin de préserver les ressources naturels. De plus, la confection du béton à base de granulats légers est faite en principe pour introduire plus de légèreté aux certains éléments de construction et parfois pour des considérations purement économiques.

La diminution des ressources mondiales en matières premières, dans nombreux pays et, à la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et de l'environnement, ils ont fait la récupération des déchets ménagers et industriels de grande valeur économique

Dans cette étude la possibilité d'élaborer d'un béton léger à partir de déchets de tuyaux en polychlorure de vinyle (P.V.C) et de tuyaux en polyéthylène de haute densité (P.E.H.D), a été expérimentalement analysé. Ces déchets ont été ajoutés au béton en remplacement partiel du volume total du gravier. Ces déchets ont été incorporés dans les mélanges en différents pourcentages (0, 30, 50 et 100%).

Le Protocol expérimental suivi consiste en l'étude de l'effet de l'incorporation des déchets de tuyaux endommagés et déchiquetés sur les propriétés du béton, aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci.

L'étude est composée de deux parties :

- Une partie bibliographique dans laquelle les principales connaissances acquises sur le comportent du béton légers et les granulats légers, a été présentée.
- Une partie expérimentale qui comporte, outre les essais d'identification des matériaux utilisés, des essais de caractérisation du béton préparé à base de granulats issus de déchiquetage de tuyaux en P V C et en P E H D.

Pour arriver aux objectifs fixés, nous avons structuré le mémoire en quatre chapitres :

- Introduction générale
- Chapitre I : synthèse bibliographique
- Chapitre II : Généralités sur le béton et ses composants
- Chapitre III : Caractéristiques des matériaux utilisés et procédures expérimentales
- Chapitre IV: Résultats et discussions
- Conclusion générale

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

### Introduction :

La recherche actuelle dans le domaine des matériaux de construction est orientée vers les granulats légers naturels ou artificiels pour assurer d'une part, la pérennité des granulats naturels conventionnels et l'allègement de certains éléments de construction et d'autre part, une économie d'énergie par la réduction de la conductivité thermique.

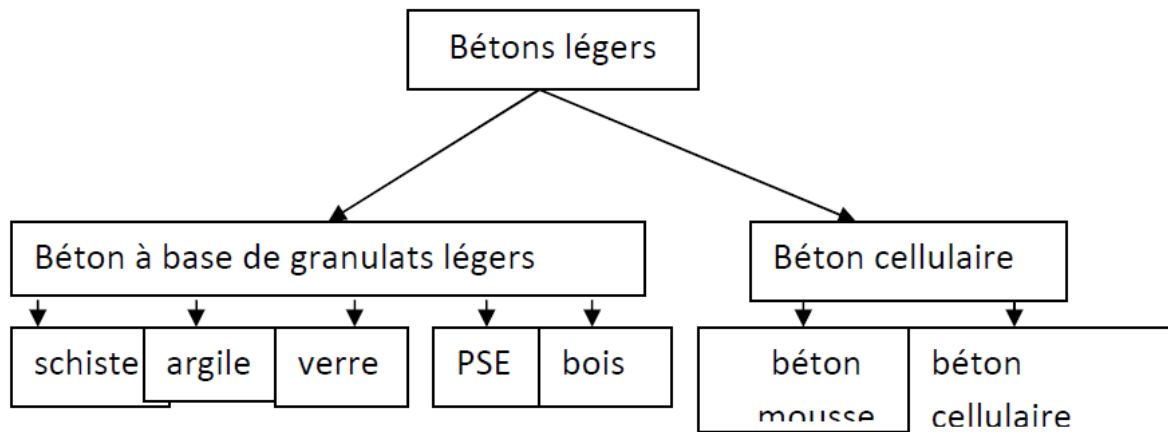
On retrouve ainsi, le verre expansé [1], le polystyrène [2] ou encore les granulats de bois. [3]

### I-1- Bétons légers :

Les bétons légers sont des bétons à haute porosité et dont la masse volumique se situe dans les limites de 500 à 1800 kg/m<sup>3</sup> .

Suivant le mode de création de la porosité artificielle les bétons légers se subdivisent selon les groupes suivant : bétons légers à agrégats légers et poreux ; bétons à gros pores (sans sable), préparés avec un gros agrégat compact ou poreux d'une seule fraction sans sable ; bétons cellulaires dont la structure est représentée par des cellules créées artificiellement et remplaçant les grains des agrégats.

La classification des bétons légers proposée par Lafarge « bétons-granulats légers » est représentée par la figure (I-1) :



**Figure (I-1) : Classification des bétons légers. (source)**

## **I-2- Bétons cellulaires :**

### **I-2-1- Définition :**

Les bétons cellulaires sont une variété des bétons légers à pores uniformément répartis (jusqu'à 85% de volume total du béton) ; ils sont obtenus par durcissement d'un mélange préalablement gonflé par un gonflant et comportant un liant de l'eau et un composant de silice.

Suivant la nature du liant utilisé, on distingue parmi les bétons cellulaires les groupes suivants : les bétons au gaz et les bétons mousses fabriqués à base de ciment portland ou de ciment et de chaux ;

Les bétons silice-calcaire au gaz et les mousses de silicate obtenus sur la base de mélange de chaux vive et de sable quartzeux ; les bétons de laitier au gaz et les bétons mousses de laitier obtenus sur la base du mélange de ciment et de laitiers de haut fourneaux finement broyés et granulés ou de cendres volantes.

### **I-2-2- Le Classification :**

D'après le mode de durcissement, on distingue les bétons cellulaires traités à la vapeur et les bétons durcis en autoclave.

Suivant l'utilisation les bétons cellulaires se répartissent en bétons d'isolation thermique de masse volumique à sec de  $500 \text{ kg/m}^3$  et appartenant à la classe de résistance 25 au plus ; en bétons d'isolation thermique et de construction de masse volumique de  $500$  à  $900 \text{ kg/m}^3$  et des classes 25 à 75 et en bétons de construction de masse volumique de  $900$  à  $1200 \text{ kg/m}^3$  et des classes 75 à 200.

### **I-2-3- Les propriétés principales :**

Les bétons cellulaires constituant des matériaux de porosité élevée possèdent une faible masse volumique et, partant, se caractérisent par une résistance mécanique relativement basse.

Une liaison semblable, mais de nature opposée, existe entre la masse volumique et le coefficient de conductibilité thermique, qui est un indice des bétons cellulaires particulièrement important. Le coefficient de conductibilité thermique des bétons cellulaires varie de  $0.07$  à  $0.25 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ .

La mousse, la pâte de ciment ou le mortier, comme leur mélange, sont préparés dans des malaxeurs spéciaux pour béton mousse comportant trois tambours à l'intérieur desquels tournent des arbres munis de palettes.

La pâte prête s'écoule du tambour supérieur dans le tambour inférieur, dans lequel d'un second tambour supérieur se déverse une mousse à point, ensuite la pâte et la mousse sont soigneusement malaxées durant 2 ou 3 mn.

Le béton mousse une fois préparé passe dans les trémies d'où il est déversé dans des moules servant à la fabrication des pièces. Avant le traitement par le chauffage dans la vapeur, le mélange est conservé un certain temps dans les moules.



Durant ce temps la mousse acquiert une première résistance lui permettant de ne pas se désagréger une fois secouée. On peut réduire le temps de conservation en utilisant des ciments à prise rapide ou en introduisant des accélérateurs de durcissement.

D'après leurs propriétés physiques et mécaniques les bétons mousses se subdivisent en bétons mousse d'isolation thermique, en bétons mousses d'isolation thermique et de construction et en bétons mousses de construction.

Le béton mousse d'isolation thermique est moulé en blocs de dimension 100×50×50 cm et plus qui une durcis sont débités en plaques par sciage. Le béton mousse d'isolation thermique a une résistance allant jusqu'à 2.5 MPa, son coefficient de conductibilité thermique et de 0.1-0.2.

Ce type de béton mousse est employé pour l'isolation thermique des planchers en béton armé, des cloisons, etc.

Le béton mousse de construction et d'isolation thermique possède une résistance qui s'étale de 2.5 à 7.5 MPa : son coefficient de conductibilité thermique et de 0.2 à 0.4 W/m. °C. Il est utilisé pour des structures de protection.

Le béton mousse de construction est employé pour la fabrication de pièces armées pour planchers. Leur armature est formée d'un treillis à double réseau en fils de 3 à 5 mm d'épaisseur. Sa résistance est de 2.0 MPa, tandis que son coefficient de conductibilité thermique est de 0.4 à 0.6 W/M. °C. Le béton mousse de construction est largement utilisé pour des structures de protection à trois couches des bâtiments chauffés. [4]

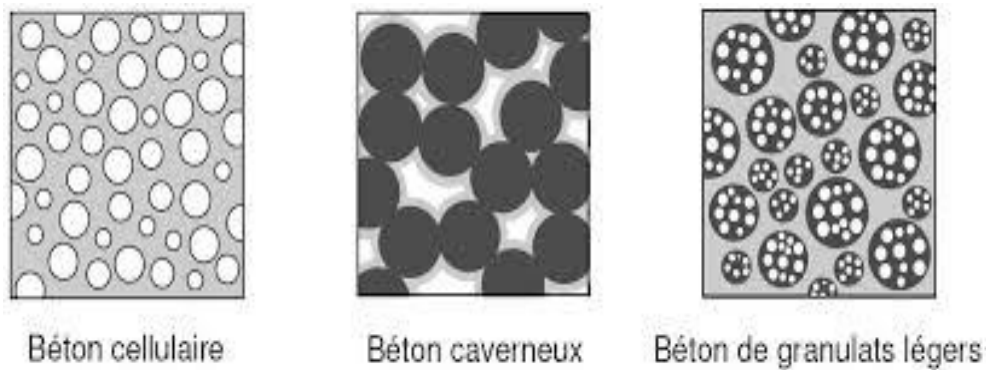
### **I-3- Granulats légers :**

Les bétons de granulats légers sont généralement classés suivant l'origine du granulat utilisé, ainsi on distingue 04 types :

- Les granulats légers naturels : la ponce ou la pouzzolane, matériaux volcaniques naturels de structures très poreuse.
- Les granulats légers ayant subi un traitement thermique : granulats d'argile, de schiste, d'ardoise ou de perlite expansée.
- Les granulats légers de matériaux artificiels : le mâchefer, sous produit de la combustion de charbon ou des ordures ménagères.
- Les granulats légers de matériaux artificiels ayant subi des traitements spéciaux : granulats de nombreux déchets industriels, comme le laitier de haut fourneau que l'on peut expansé.

#### **I-3-1- Porosité et densité des bétons et granulats légers :**

On diminue la masse volumique du béton en remplaçant une certaine quantité de matériau solide par de l'air. Les trois endroits possibles pour incorporer de l'air dans le béton sont : dans la matrice (béton cellulaire), entre les gros granulats (béton caverneux ou sans fines, c'est-à-dire sans sable) et dans les granulats (bétons de granulats légers). La figure (I-2) illustre ces trois types de béton. [5]



**Figure (I-2) : Représentation schématique des différents types de béton léger, d'après short et kinniburgh.**

Les granulats allégés par expansion ou frittage, très utilisés dans de nombreux pays comme l'URSS ou les USA, aussi bien dans la France ; ils ont des caractéristiques de résistance, d'isolation et de poids très intéressantes. Les plus usuels sont l'argile ou le schiste expansé (norme NF P18-309) et le laitier expansé (NF P18-307) ; d'une masse volumique variable entre 400 et 800 kg/m<sup>3</sup> selon le type et la granularité, ils permettent de réaliser aussi bien des bétons de structure que des bétons présentant une bonne isolation thermique. Un gain de poids intéressant puisque les bétons réalisés ont une masse volumique comprise entre 1200 et 2000 kg/m<sup>3</sup>.

Les granulats très légers sont d'origine aussi bien végétale et organique que minérale (bois, polystyrène expansé). Très légers de masse volumique variable entre 20 et 100 kg/m<sup>3</sup> ; ils permettent de réaliser des bétons de 300 à 600 kg/m<sup>3</sup> ; on voit donc leur intérêt pour les bétons d'isolation, mais également pour la réalisation d'éléments légers : blocs coffrant, blocs de remplissage, dalles ou rechargement sur planchers peu résistants.

### **I-3-2- Fabrication des granulats légers :**

Les procédés de fabrication usuels des granulats légers artificiels à base de matières premières naturelles (argile, schiste, ardoise) ou de sous produits industriels (laitiers, cendres volantes) ; sont l'expansion en four rotatif ou la cuisson sur grilles. [6]

L'expansion est alors générée par la formation d'un gaz à l'intérieur du matériau en fusion (entre 1000 et 1300°C) ; la structure poreuse est alors conservée par le refroidissement rapide du matériau. Ces granulats peuvent être obtenus par le concassage des masses expansées ou par préformage avant l'expansion (moulage et déchiquetage de l'argile, pulvérisation des schistes et de l'ardoise, frittage des cendres volantes).

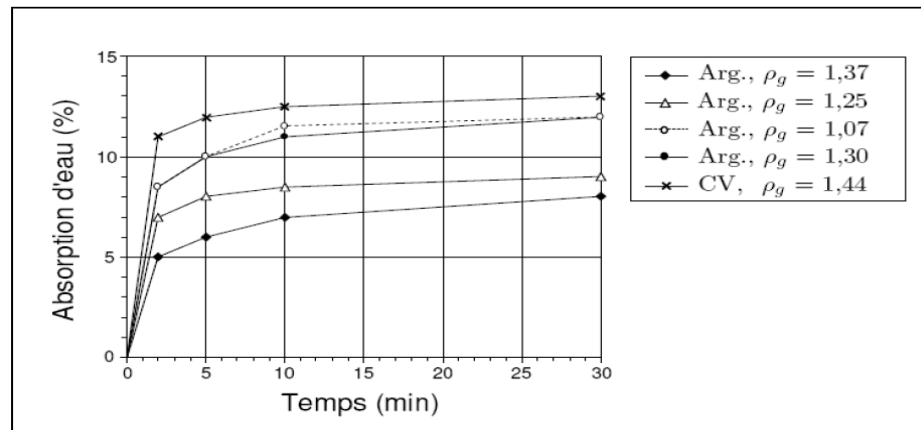
Le moulage et le frittage permettent d'obtenir des granulats de forme sphérique (granulat bouleté ou roulé). Le laitier liquide à 1450°C est fabriqué sans opération de concassage ni préformage ; il est alors projeté dans l'atmosphère au moyen d'un tambour rotatif tandis que des jets d'eau assurent l'expansion des particules en fusion. [7]

Ces granulats manufacturés sont à l'heure actuelle les meilleurs granulats pour la fabrication des bétons légers de structure. On préfère toutefois les granulats roulés aux granulats concassés car leur forme arrondie et leur plus faible absorption d'eau améliorent les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons légers. [8][9][10]

### I-3-3- Absorption d'eau des granulats légers :

Les granulats légers sont caractérisés par une très grande porosité (entre 25 et 75% du volume apparent). La taille et la distribution des pores influencent la résistance des granulats, mais déterminent surtout leurs propriétés d'absorption (taux d'absorption et absorption totale).

Les données de la littérature montrent que le taux d'absorption d'eau des granulats légers artificiels est très élevé, plus de 50% de l'absorption dès les toutes premières minutes. [11] voir figure (I-3) ci-dessous.



**Figure (I-3) : Absorption d'eau en fonction du temps des granulats d'argile expansés (Arg) et de cendres volantes frittées (Cv), granulats 4/8 mm, densité apparente  $\rho_g$  ; d'après Zhang & Gjorv.**

Par ailleurs, la porosité des granulats légers varie proportionnellement à la taille des grains. Par conséquent, plus la taille des granulats diminue, moins ils sont poreux et plus leur densité apparente augmente. Les cendres volantes frittées, sont les plus absorbantes comparativement à l'argile expansée ; étant donné l'interconnexion plus élevée entre les pores. Le problème qui se pose lorsqu'on fabrique un béton avec des granulats légers est qu'une quantité importante d'eau de gâchage peut être absorbée par les granulats légers. L'effet sur l'ensemble du matériau peut se traduire par une perte rapide de maniabilité. [6] Certains moyens tel que le pré mouillage ou l'utilisation d'un traitement de surface visant à réduire l'absorption d'eau des granulats s'avèrent très efficaces pour diminuer la perte de maniabilité des bétons légers. [12]

Différents travaux ont été mené pour régler ce problème d'absorption d'eau des granulats légers ; voir la possibilité technique d'introduire des granulats caoutchouteux dans le béton ou bien des polymères, comme le polystyrène expansé ; grâce à leur forme, les perles de polystyrène expansé n'absorbent presque pas l'eau de gâchage ; mais en raison de leur poids très léger et de leur surface hydrophobe, le béton de polystyrène expansé est prédisposé à la ségrégation lors de la mise en coffrage du béton ; une méthode de pré mélange semblable à la technique «enveloppant sable » a été étudiée par [13] ; cette recherche a montré qu'en remplaçant partiellement des granulats ordinaires par les perles de polystyrène expansé, on aboutit à un béton léger de masse volumique comprise entre 800 et 1800 kg/m<sup>3</sup> et une force de compression variant de 10 à 25 MPa.

D'autres recherches dans le domaine des nouveaux matériaux de construction ont montré que l'introduction de particules de caoutchouc issues de l'industrie de récupération (déchiquetage des tubes inutilisables en PVC) réduit l'absorption d'eau du composite. [14] [15]

#### **I-4- Nouveaux granulats :**

Beaucoup d'auteurs ont travaillé sur un nouveau matériau ou granulat composite issu de la récupération des déchets ; qu'est la granulation de caoutchouc tirée des pneus usés et jetés dans des chantiers de dépôt illégaux. [16] L'utilisation potentielle de ce type de béton à base de miettes de pneus usés, s'avère très intéressante en termes de gain de poids et d'économie d'énergie.

Le gain de poids entraîne une diminution des sections des éléments structurels assurant la transmission des charges. La diminution de poids conduit à des économies de transport des éléments manufacturés et à des gains de productivité à la mise en oeuvre.

Plusieurs applications constructives ont été proposées par [17] sur ce type de béton caoutchouteux, par exemple : la fabrication des briques composites servant de cloisons légères et isolantes ; l'utilisation du béton caoutchouteux pour la forme de pente des terrasses inaccessibles minimise les dommages causés par l'action de gel-dégel ; donc ces particules de caoutchouc limitent les fissures dans le béton ; il est aussi utilisé pour les dalles flottantes comme obstacle pour les remontées capillaires. Ces granulats en caoutchouc sont particulièrement employés pour la fabrication d'agglomérés, pour les bétons banchés non porteurs ou faiblement chargés comme (le dallage de couvertures, revêtements de façades et de plafonds, corniches de ponts.....etc.) et pour des bétons isolants. D'autre part, l'utilisation des fibres végétales, organiques ou minérales dans les bétons légers intéressent beaucoup de chercheurs dans le domaine des matériaux composites.

#### **I-5- Formulation des bétons légers :**

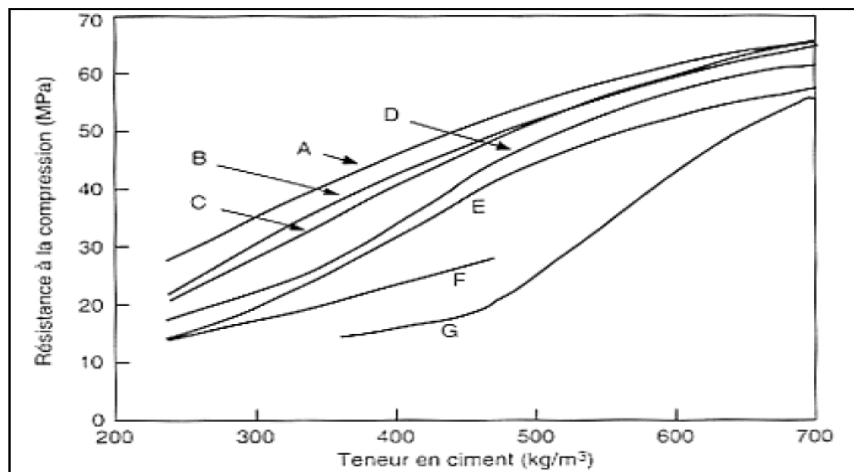
##### **I-5-1- Principe de base :**

Les constituants d'un béton léger et les méthodes de formulation sont les mêmes que ceux d'un béton traditionnel à l'exception des granulats légers. Cependant, dans le cas des bétons légers, l'absorption des granulats légers doit faire l'objet d'une attention particulière. À l'étape du malaxage, lorsqu'une certaine quantité d'eau est ajoutée, la quantité disponible pour humidifier le ciment et permettre sa réaction dépend de la quantité d'eau absorbée par les granulats légers. Cette quantité d'eau peut être très importante, comme on l'a vu au paragraphe précédent. Cette particularité confère à chaque béton léger un caractère unique.

##### **I-6- Caractéristiques mécaniques des bétons légers :**

Les différentes propriétés des granulats légers et des bétons légers ont été largement étudiées par plusieurs chercheurs. La principale distinction des bétons de granulats légers par rapport aux bétons de granulats rigides est la plus faible masse volumique qui diminue à la fois le module élastique et la résistance du béton. Bien que l'on observe un plafond de résistance ; des bétons légers à haute performance d'une résistance en compression supérieure à 60 MPa pour une masse volumique inférieure à 1900 kg/m<sup>3</sup> ont été réalisés. Les mécanismes qui permettent d'expliquer un tel niveau de performance ne sont pas encore bien expliqués.

On peut citer la relation entre la résistance mécanique à la compression du béton et le dosage en ciment [17] pour différents bétons légers voir figure (I-4) ci-dessous



**Figure (I-4) : Relation entre la résistance à la compression du béton à 28 jours (mesurée sur cubes) et le dosage en ciment des bétons ayant un affaissement de (5cm) et confectionnés avec différents types de granulats légers. A cendres volantes frittées+granulat fin ordinaire, B laitier du haut fourneau+granulat fin ordinaire, C cendres volantes frittées, D schiste fritté, E ardoise expansée, F argile expansé+sable, G laitier expansé ;[Lydon, 1982]**

Les bétons de granulats légers sont des matériaux constitués de granulats flexibles noyés dans une matrice plus ou moins rigide et continue ( $E_g < E_m$ ). Leur comportement mécanique est alors intimement lié à la différence de module élastique entre ces deux phases mais également à leurs proportions volumiques respectives.

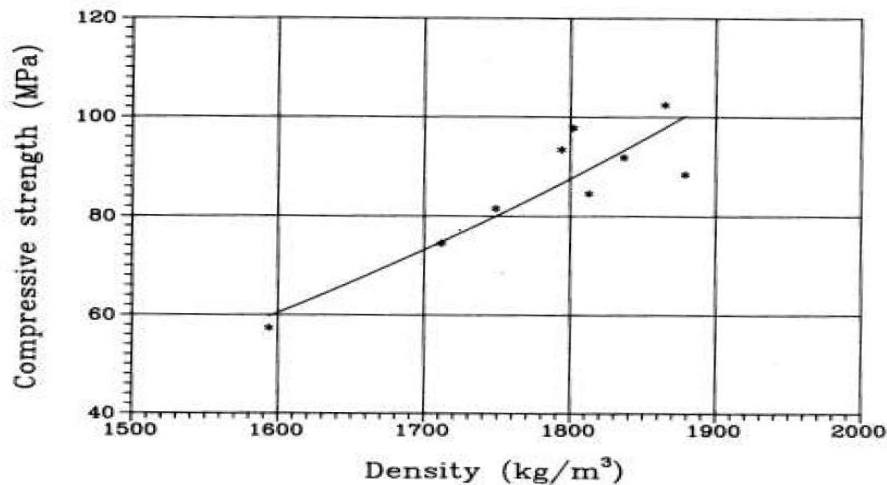
#### **I-6-1- La masse volumique et résistance mécanique :**

La masse volumique et la résistance mécanique d'un béton léger dépendent principalement des facteurs suivants : masse volumique et composition granulométrique de l'agrégat ; dépense de liant et d'eau ; mode de compactage du mélange de béton léger. Selon la qualité de l'agrégat poreux on peut estimer de façon approximative la résistance éventuelle d'un béton léger.

##### **a- Résistance en compression :**

Avec des granulats légers et une formulation de béton appropriée, il est possible d'obtenir des résistances à la compression comparables à celles obtenues avec du béton traditionnel.

L'évolution des connaissances et des technologies du béton ont permis au fil des ans d'améliorer les propriétés des bétons, dont celles des bétons légers. Par exemple, l'utilisation d'ajouts minéraux (fumée de silice, cendres volantes, laitiers) et d'adjuvants (agents entraîneurs d'air, AEA, superplastifiants, SP, agents réducteurs d'eau, WR et accélérateurs de prise) ont donné la possibilité notamment de diminuer le rapport E/L tout en conservant une bonne maniabilité. Des résistances en compression de 100 MPa ont même été obtenues et sont présentées (voir figure (I-5)).



**Figure (I-5): Relation entre la résistance en compression à 28j et la densité du béton frais d'un mélange avec des granulats légers. [18]**

Dans le cas du béton léger, les granulats (légers) sont, contrairement au béton traditionnel, en général moins résistants que le mortier. Ils constituent le point faible du béton. Par contre, grâce à leur surface poreuse et aux liaisons qui en résultent, il y a une très bonne adhérence entre le mortier et les grains. La rupture se produit donc par cassure des granulats légers, dans des plans qui coupent un grand nombre de granulats. [19]

#### **b- Résistance à la traction :**

De même que pour les bétons ordinaires, les bétons légers présentent une résistance à la traction assez faible. Ceci est d'autant plus vrai pour les bétons légers, puisque la propagation des fissures peut s'effectuer au travers des granulats. Des résistances à la traction par fendage de 3,3 à 4,2 MPa pour des bétons d'une masse volumique de 1940 kg/m<sup>3</sup> [20], ou de 3,5 à 5,6 MPa pour des bétons, dont la masse volumique variait de 1620 à 1885 kg/m<sup>3</sup> [21], ont par exemple été rapportées.

#### **I-6-2- Module élastique :**

Le module élastique d'un béton léger est inférieur à celui d'un béton normal. La cause principale réside dans le module élastique des granulats légers (10 à 20 GPa) qui est très inférieur à celui des granulats de masse volumique usuelle (granite, 10 à 70 GPa, calcaire, 10 à 55 GPa).

La figure (I-6) présente quelques résultats de précédentes études sur des bétons légers. On constate notamment que le module élastique semble proportionnel à la masse volumique.

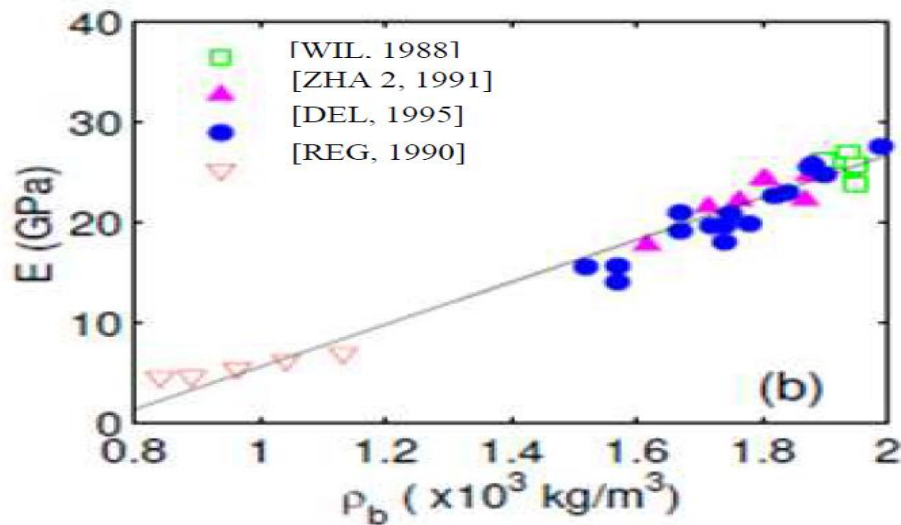


Figure (I-6): Résultats de modules élastiques de bétons légers à 28 j d'après plusieurs auteurs. [22]

### I-6-3- Retrait :

Les bétons légers présentent pour la plupart, un retrait plus important que les bétons traditionnels et également plus tardif, car l'eau absorbée par les granulats légers se trouve progressivement restituée par la matrice, retardant ainsi la déshydratation du mortier, cause principale du retrait. Le retrait est évalué en valeur finale selon le dosage en ciment, en eau et la nature des granulats légers utilisés.

La figure (I-8) reproduit quelques résultats de [23] sur l'efficacité des granulats légers à prévenir les dommages dus au retrait endogène en comparant la déformation d'un béton ordinaire et de deux bétons saturés et partiellement saturés.

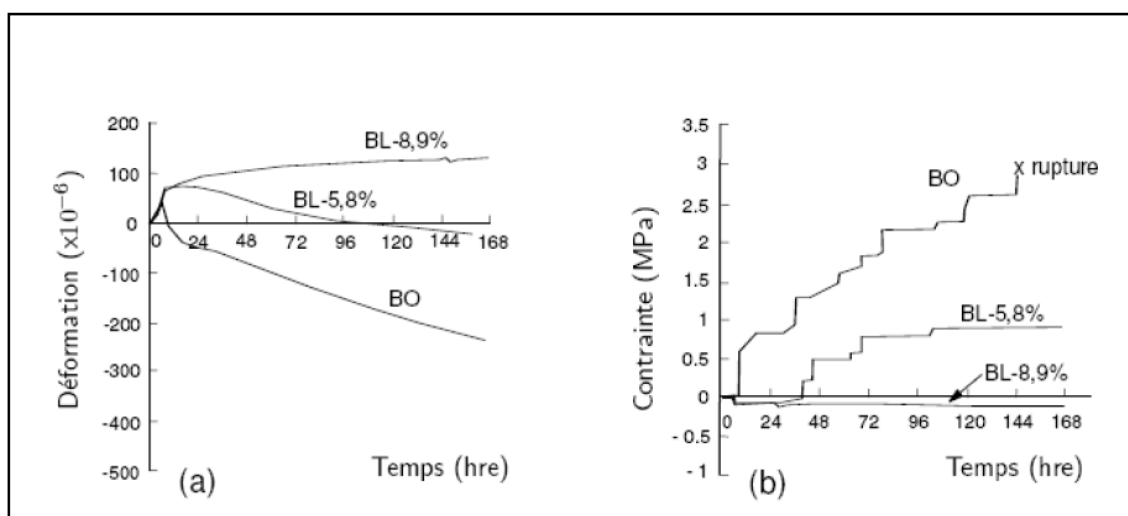


Figure (I-7) : Retrait endogène en fonction du temps : *déformation libres (a) et contraintes induites par le retrait empêché (b)* ; bétons légers avec granulats saturés (BL-8,9%) et partiellement saturés (BL-5,8%) ; bétons de granulats rigides (BO) ; [Bentur & Coll].

Le retrait endogène est une diminution de volume de la pâte liante provoquée par son assèchement interne du fait de la consommation de l'eau pour l'hydratation ; on dit aussi retrait d'auto-dessiccation ou retrait d'hydratation.

#### I-6-4- Isolation :

Une des propriétés intéressante des bétons de granulats légers est leur pouvoir d'isolation thermique dû aux nombreuses bulles d'air interposées dans l'épaisseur du béton. Le béton parfaitement sec est plus isolant que le béton humide. Ces bétons légers constituent aussi de bons isolants phoniques.

La corrélation entre la masse et le coefficient de conductivité thermique se traduit par des performances en matière d'isolation thermique, d'autant plus sensible que la densité diminue. [24]

Grâce à leur conductivité thermique et à leur coefficient de dilatation plus faibles, les bétons légers présentent une résistance au feu meilleure que celle des bétons courants, à condition que les granulats soient d'origine minérale.

La structure cellulaire des bétons légers leur assure une bonne imperméabilité à l'eau, tout en favorisant les échanges de vapeur, ce sont aussi des matériaux résistant au gel.

#### I-6-5- Adhérence pâte-granulats légers :

La qualité des interfaces pâte-granulats légers est généralement supérieure à celle des bétons de granulats rigides. Des mécanismes d'interaction physico-chimique et mécanique ont été identifiés par [25] voir figure (I-6) ci-dessous; la pâte de ciment peut venir se loger entre les rugosités et les pores à la surface des granulats légers. Cet ancrage mécanique qui améliore l'adhérence des granulats à la matrice cimentaire, dépend de la texture des granulats, de la taille des grains et de la viscosité de la matrice.

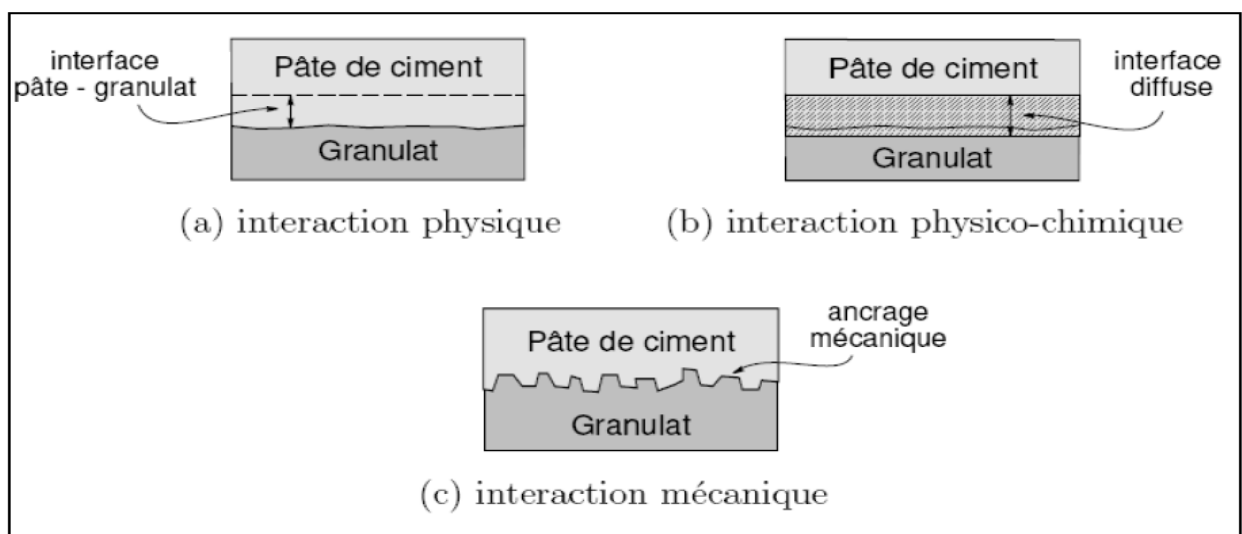


Figure (I-8) : Interface pâte-granulats et mécanismes d'interaction identifiés, d'après Zhang & Gjorv.



**I-6- 6- Durcissement du béton léger :**

Lors du durcissement et selon la chaleur dégagée par l'hydratation du ciment, les bétons légers peuvent être soumis à une plus forte augmentation de température que les bétons de granulats rigides. De plus, étant donné leur meilleure capacité d'isolation, cette élévation peut s'étendre sur une plus longue période et par conséquent favoriser les gradients thermiques.

**I-6-7- La capacité d'isolation thermique :**

La capacité d'isolation thermique des bétons dépend du degré de porosité et de genre des pores. Dans un béton léger la transmission de la chaleur a lieu à travers l'ossature solide et les espaces d'air remplissant les pores, ainsi que par le mouvement convectionnel de l'air dans un volume clos. Donc, plus le volume des pores est petit, plus le mouvement de l'air dans le béton est réduit et plus sa capacité d'isolation thermique s'améliore.

**I-7- Conclusion :**

Cette synthèse bibliographique a permis d'une part de situer l'état actuel de la recherche dans le domaine des matériaux composites et granulats légers utilisés dans la construction .

## **Chapitre II : Généralité sur le béton et ses composants**

### **Introduction :**

Le béton est l'un des matériaux les plus importants et les plus utilisés dans tous les domaines de la construction.

Ceci s'explique par les faits suivants :

- facilité de façonnage et la mise en oeuvre.
- possibilité de varier les propriétés du béton, avec de larges limites en utilisant des composants aux qualités correspondantes et en appliquant des méthodes spéciales de traitement mécanique et physico - chimique.
- possibilité de mécanisation totale des travaux de bétonnage.
- les qualités économiques du béton car 80% à 90% de son volume est composé d'agrégat d'origine locale. [4]

### **II-1- Définition du béton :**

On sait que le béton est le matériau obtenu en solidarifiant, par une pâte liante de ciment, un squelette granulaire composé d'un ou plusieurs sables, et d'un ou plusieurs graviers. Comme le liant a des propriétés hydrauliques, ces bétons sont aussi appelés bétons hydrauliques. [27]

### **II-2- Comportement du béton :**

Le béton résiste bien à la compression mais sa résistance à la traction est relativement faible, sa résistance est très rapidement atteinte et dépassée, une fissure se crée et se propage sans empêchement et donne lieu à une rupture fragile.

### **II-3- L'importance du béton :**

Le béton a été depuis longtemps le matériau le plus utilisé dans la Construction. Il demeurera sans aucun doute le matériau le plus employé au cours des prochaines décennies, dans la construction des divers ouvrages.

En 1961 **J. Kelly** un spécialiste américain écrivait: (Personne ne pensera utiliser du bois dans la construction d'un barrage, de l'acier dans des routes ou du bitume dans des bâtiments, mais le béton peut être utilisé dans tous ces cas et plus encore).

### **II-4- Structure du béton :**

Le béton possède une structure extrêmement complexe, formée de matériaux de natures minéralogiques différentes et d'une phase liquide dont l'influence est importante. Les bétons sont, comme on le sait formés d'un mélange de matières solides, inertes de dimensions différentes, assemblées entre elles par l'intermédiaire d'un liant, donc c'est un matériau composite, hétérogène et tri-phasique. Les matières inertes généralement siliceuses en calcaires, forment l'agrégat, le liant et le plus souvent composé d'un ciment, poudre minérale qui, mise en présence de l'eau, s'agglomère pour acquérir les qualités d'une matière solide, l'agrégat étant généralement un solide stable aux propriétés classiques, c'est au ciment que sont dues pour la plus grande part, les anomalies physico-mécaniques qui font la différence entre le comportement du béton et celui des solides habituels. [28]

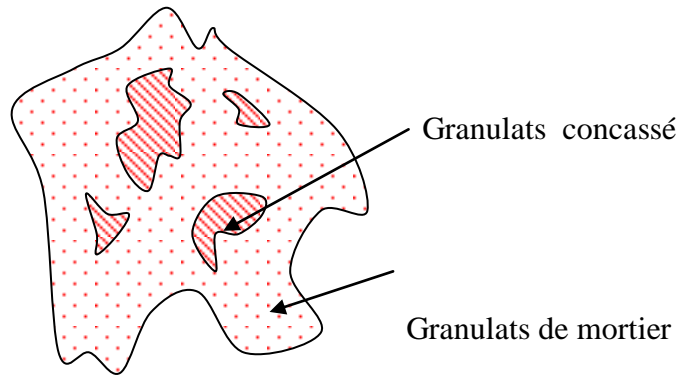


Figure (II-1): constitution du béton. [29]

## II-5- Propriété du béton :

Chaque matériau possède plusieurs propriétés, et lorsque le béton étant défini comme un matériau composite, il se distingue par plusieurs propriétés que se soit à l'état durci (résistance mécanique, retrait, porosité, perméabilité,...) ou à l'état frais (fluidité, ségrégation, ouvrabilité, ....).





### II-5-1- Propriété du béton frais :

Les propriétés les plus importantes du béton frais sont :

#### a- L'ouvrabilité :

L'ouvrabilité du béton est une caractéristique importante qui est trop souvent négligée. Elle est pourtant essentielle car elle conditionne non seulement la mise en place correcte du mortier, le bon enrobage des armatures et également l'ensemble de ses propriétés à l'état durci. De l'ouvrabilité dépendent en effet la plupart des qualités de l'ouvrage : compacité et résistance réelle de béton dans l'ouvrage lui-même, enrobage et adhérence des armatures cohésion du béton entraînant un moindre risque de ségrégation, parements de belle apparence, étanchéité. [4]

L'ouvrabilité ou la maniabilité peut s'apprécier de diverses façons et en particulier par des mesures de plasticité. Les contrôles de l'ouvrabilité peuvent se faire par divers tests, le plus couramment utilisé dans la pratique est « l'affaissement au cône d'ABRAMS », ce test est simple et, nécessite un matériel peu coûteux, il a fait l'objet de la norme AFNOR P18-451 dont on donnera ci-dessous que les principes essentiels : on remplit de béton un moule tronconique en tôle ( $D=20$ ,  $d=10$ ,  $h=30$ ). Le remplissage se fait en quatre couches tassées avec une tige d'acier pointue de 16mm de diamètre à raison de 25 coups par couche. En soulevant ensuite le moule avec précaution, on mesure l'affaissement. Ce test qui caractérise bien la consistance d'un béton et permet d'obtenir un classement approximatif comme indiqué dans tableau ci dessous : [4]

La forme du béton	Classes de consistance	Affaissement (cm)	Tolérance
	Très ferme (TF)	0 à 4	±1
	Ferme (F)	5 à 9	±2
	Plastique (P)	10 à 15	±3
	Très plastique (TP)	> 15	±3

**Tableau (II-1): Classe de consistance du béton. [30]**

### **b- Ségrégation :**

C'est le phénomène inhérent à l'hétérogénéité du béton qui se trouve soumis à différentes manipulations: telles que malaxage, transport, chute dans les coffrages à travers les ferrailages, vibration, etc. Il en résulte que les éléments constituant le béton ont tendance à se séparer les uns des autres, à se « ségréger » en fonction de leur grosseur ou de leur densité.

En d'autres termes le béton subit un dé mélange et par conséquent une diminution de sa résistance. [28]

### **c- Teneur en air occlus :**

La mesure de la quantité d'air occlus est réalisée pour d'assurer de l'effet entraîneur d'air du produit. C'est le cas pour pratiquement tous les bétons de route.

Rappelons que l'air entraîné se trouve dans le béton sous forme de bulles de dimension très réduites réparties de façon homogène. Il a pour but d'améliorer la maniabilité et de diminuer la gélivité.

La quantité mesurée englobe l'air entraîné par ainsi que l'air restant dans le béton, même vibré. Quel que soit l'intensité de vibration. Il reste toujours dans ce dernier, de 0,5 à 3% d'air suivant la finesse du sable, le dosage en ciment et en eau.

#### **d- Retrait et gonflement :**

Immédiatement après le gâchage, on observe une diminution de volume de la pâte fraîche de ciment; c'est le "premier retrait" ou retrait plastique. Ce retrait se poursuit après la prise, puis diminue pour faire place à un gonflement plus ou moins important. Entre 24h et 48h, si l'éprouvette est conservée dans l'air, ce gonflement fait place à nouveau à un retrait appelé "second retrait", soit  $l$  la dimension de l'éprouvette étudiée dans la direction considérée ; soit  $\Delta l$  la variation de longueur correspondant (positive S'il s'agit d'un gonflement, négative s'il s'agit d'un retrait). La mesure du retrait consiste à évaluer les variations de  $\frac{\Delta l}{l}$  en fonction du temps. [27]

#### **II-5-2- Propriété du béton durci :**

Les propriétés les plus importantes du béton durci sont :

##### **a- Résistance mécanique :**

La résistance mécanique est une propriété intrinsèque du béton, elle détermine dans la plus part des cas les qualités d'un béton.

La résistance du béton dépend de l'activité du ciment, du rapport E/C, de la qualité des agrégats, du degré de compacité du mélange de béton et des conditions de durcissement. [4]

Le béton en service est soumis aux différentes sollicitations d'où plusieurs aspects de résistance :

- Résistance à la compression.
- Résistance à la traction.
- Résistance aux cisaillements.

**\* Résistance à la compression :** Dans l'état actuel des connaissances et de la technologie en matière de méthode d'essais diverses et malgré l'intérêt croissant pour certaines méthodes modernes, l'essai d'écrasement demeure nécessaire.

Quand il est réalisé consciencieusement. Cet essai donne des résultats très significatifs de la qualité du béton en générale. Mais il ne faut pas lui accorder trop de signification physique en pensant notamment que l'on obtient la résistance à la compression. Nous savons en effet. Que les résultats obtenus varient sensiblement en fonction des modes de préparation et de sollicitation des éprouvettes. C'est pour cette raison que nous préférons parfois dénommer ce test : «essai d'écrasement ».

**\* Résistance en traction:** La résistance en traction à 28 jours est désignée par  $F_{tj}$ .  
Plusieurs essais peuvent être réalisés. [30]

**\*Traction directe :** la mesure se fait par mise en traction de cylindres identiques aux précédents mais l'essai est assez délicat à réaliser car il nécessite, l'opération devant avoir lieu sans aucun effort de flexion parasite.

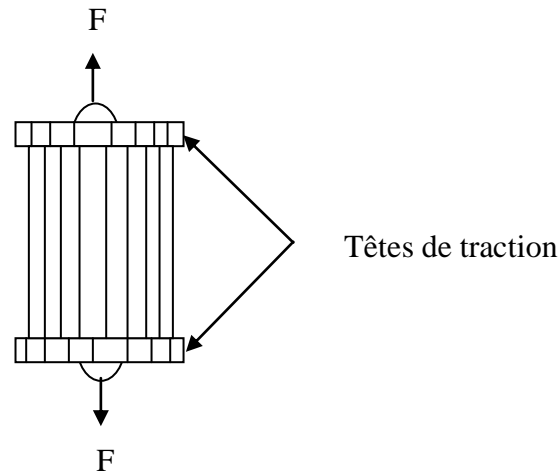


Figure (II-2): traction direct.

**\*Traction par fendage:** L'essai consiste à écraser un cylindre de béton suivant deux génératrices opposées entre les plateaux d'une presse; cet essai est souvent appelé « Essai Brésilien ».

Si P est la charge de compression maximale produisant l'éclatement du cylindre par mise en traction du plan diamétral vertical, la résistance en traction sera: [30]

$$f_{ij} = 2 \frac{P}{\pi DL}$$

Avec: j = âge du béton (en jours) au moment de l'essai;  
D et L = diamètre et longueur de cylindre.

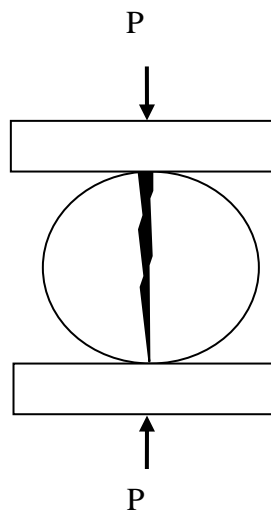


Figure (II-3): traction par fendage.

**\*Traction par flexion:** c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté  $a$  et de longueur  $4a$ . Pour une charge totale  $P$ , le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est: [30]

$$f_{ij} = M \frac{Pa}{2}$$

La section a pour module d'inertie  $\frac{I}{v} = \frac{a^3}{6}$  et la contrainte de traction correspondant sur la fibre inférieure est: [13]

$$f_{ij} = \frac{Mv}{I} = \frac{6M}{a^3}$$

Toutefois, la comparaison des résistances obtenues en traction-flexion avec celles mesurées en traction directe ou par fendage montre que ces dernières sont en générale et en moyenne inférieures de 40 % environ par rapport aux première; ceci peut s'expliquer par la plastification du béton dans la phase de pré rupture; ne sont alors.

plus valable les lois de l'élasticité qui donnent contraintes et des  $\sigma = \frac{6M}{a^3}$  (Proportionnalité des déformations).

On affecte donc d'un coefficient 0.6 les valeurs trouvées en traction-flexion et le calcul dans ce cas se fait par la formule: [30]

$$f_{ij} = \frac{3.6M}{a^3}$$

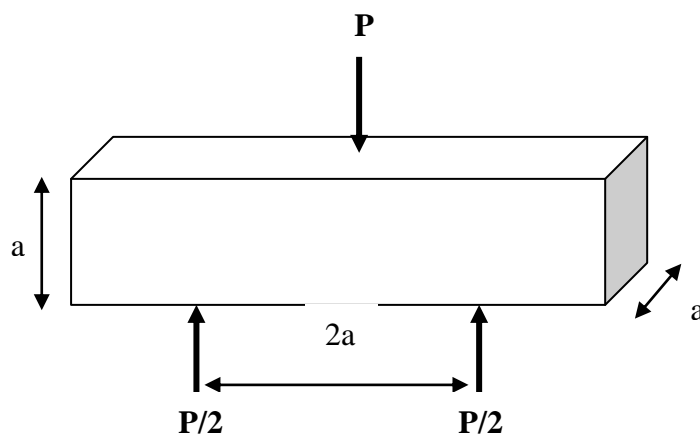


Figure (II-4): Traction par flexion.

**b- Retrait du béton :**

Le retrait est la diminution du volume du béton non chargé du à l'évaporation de l'eau incorporé dans la masse, pour rendre le béton maniable, en effet on doit ajouter au ciment une quantité d'eau très supérieure à celle qui serait nécessaire à son hydratation, ce durcissement sans excès d'eau diminue beaucoup les effets du retrait c'est pourquoi in convient de tenir les pièces humides en les arrosant pendant leurs durcissement.

**\* retrait endogène (autodessiccation) :** Des changements volumétriques se produisent également après la prise et peuvent prendre la forme de retrait ou de gonflement. Lorsqu'un apport d'eau existe, la poursuite de l'hydratation conduit à une expansion. Par contre, lorsque le mouvement de l'humidité de ou vers la pâte de ciment n'est pas possible, on observe du retrait. Ce retrait est la conséquence de l'absorption de l'eau des pores capillaires due à l'hydratation du ciment non encore hydraté. Phénomène connu comme l'autodessiccation. Ce retrait set dit encore retrait d'hydratation. [27]

**\* retrait exogène (dessiccation) :** On dit que les éprouvettes de rapport E/C >0.45 ne connaissent qu'un retrait endogène négligeable ; l'excès d'eau par rapport à la quantité nécessaire à l'hydratation du ciment fait que le capillaires les plus fins ne sont pas asséchés au cours de l'hydratation. Mais si ces éprouvettes sont entreposées dans un milieu (l'air) où l'évaporation de l'eau en excès est possible, ce départ d'eau vers l'extérieur provoquera le même effet : des tractions à l'intérieur des pores capillaire qui aboutiront au retrait. Ce retrait est appelé retrait exogène car il est provoqué par les échanges d'eau entre l'éprouvette et le milieu extérieur ; il est aussi appelé **retrait de séchage** car il est dû au départ de l'eau vers l'extérieur. [27]

**c- Fluage :**

C'est un phénomène de déformation différée sous charge fixe indéfiniment appliquée. [30]

**d- Perméabilité :**

C'est la porosité du béton de laisser pénétrer l'eau (ou tout autre liquide) sous pression, elle n'est pas une simple fonction de la porosité mais dépend aussi de :

- la compacité du béton
- le rapport E/C
- Régime du durcissement
- La distribution et la taille des pores

**e- Porosité :**

On appelle en porosité du béton le degré de remplissage de son volume par les pores qui sont de petites alvéoles remplies d'eau ou d'air ils peuvent être fermés ou ouverts ayant des dimensions plus ou moins grandes.

**f- Durabilité :**

Un béton durable est un béton capable de résister à un degré satisfaisant aux conditions climatiques, aux attaques chimiques, et à tout processus de détérioration ceci dit un béton durable, conserve sa forme originale et ses quantités quand il est exposé a son environnement.



Il est lié essentiellement à deux facteurs :

- sa constitution.
- sa mise en œuvre. [28]

## **II-6- Composition du béton :**

### **II-6-1- Introduction:**

Pour assurer la fluidité, la résistance et d'autres propriétés requises du béton, il faut lui trouver une composition convenable, c'est-à-dire il faut lui déterminer la dépenses (en poids) en matériaux constituant un mètre cube( $1\text{m}^3$ )de béton frais dans un cas déterminé pour obtenir un mélange ouvrable.

Un béton de résistance et d'autres propriétés imposées, si le béton est mal dose,il ne pourra pas avoir les caractéristiques requises, ou bien on donne naissance à un surdosage indésirable du ciment, d'où augmentation du coût du béton et par la suite augmentation du prix de revient de l'ouvrage.

Dans la littérature de génie-civil on trouve différentes méthodes pour déterminer la composition du béton, on cite à titre d'exemple:

- la méthode de BOLOMEY.
- la méthode de FAURY.
- la méthode de VALETTE.
- la méthode de JOISEL.
- la méthode de DREUX-GORISSE
- la méthode d'ABRAMS.
- la méthode indienne.
- la méthode russe des volumes absolus dite de XKRAMTAIEV.

Parmi ces méthodes on a choisi une méthode simple et pratique, c'est la méthode de « DREUX-GORISSE » dans ce qui suit on développera les principales phases des calcul de cette méthode. [30]

### **II-6-2- Détermination du dosage en ciment :**

On commencera par évalue approximativement le rapport E/C en fonction de la résistance moyenne désirée  $\sigma_{28}$ .

$$\sigma_{28} = G\sigma_c \left( \frac{C}{E} - 0.5 \right)$$

$\sigma_{28}$  : Résistance moyenne en compression à 28 jours en Mpa.

$\sigma_c$  : Classe vraie du ciment (à 28 jours) en Mpa.

E : dosage en eau totale sur matériaux secs (en  $\text{l/m}^3$ ).

C : dosage en ciment (en  $\text{kg/m}^3$ ).

G : coefficient granulaire.

Les valeurs approximatives du coefficient granulaire G .ces valeurs supposant que le serrage du béton effectuer dans de bonnes conditions (par vibration en principe) sont données dans le tableau (II-2).

Qualité des granulats	Dimension des granulats en mm		
	Fins	Moyens	Gros
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne, courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Tableau (II-2): Coefficient du granulaire.

Connaissant le rapport C/E et la fluidité désirée qui est une donnée du problème, on peut déterminer le dosage en ciment d'après abaque figure (II-5). [29]

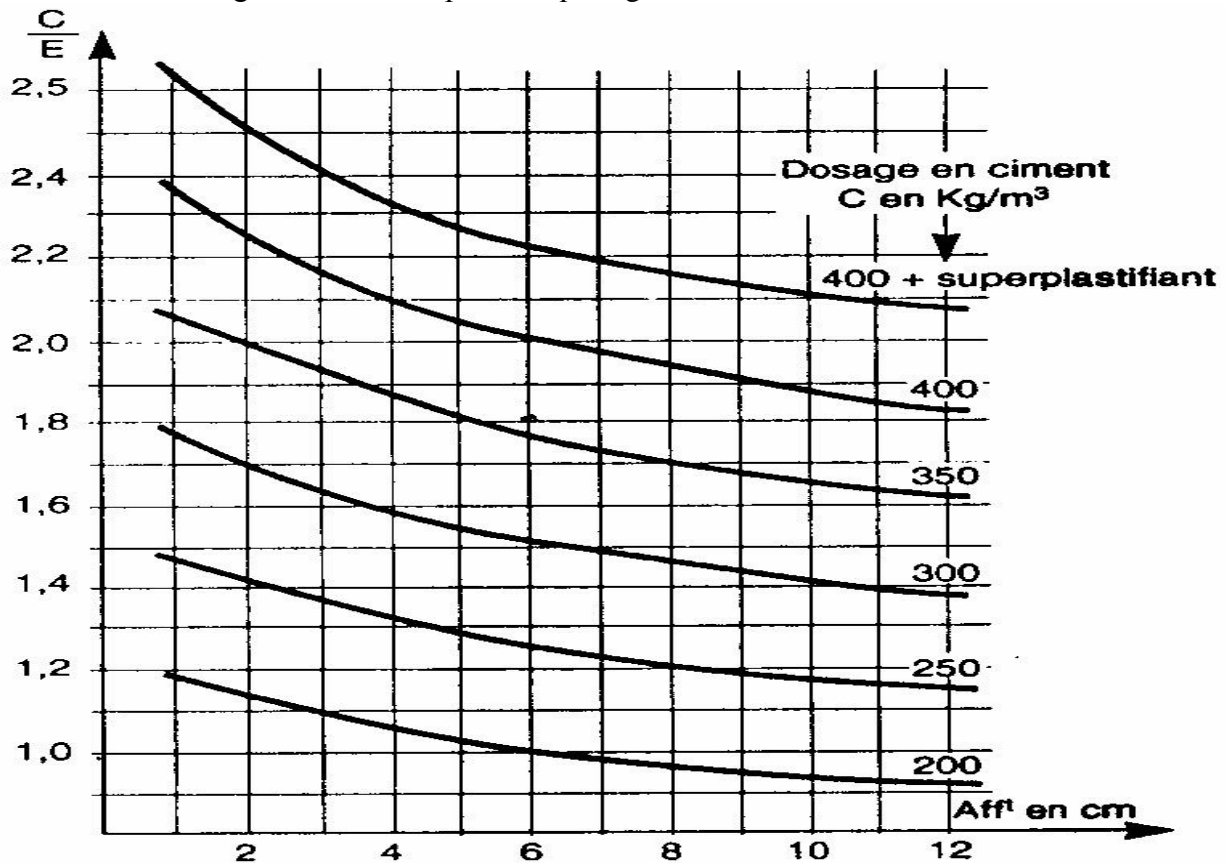


Figure (II-5): Abaque permettant d'évaluer approximativement le dosage en ciment à prévoir en fonction du rapport C/E et de l'ouvrabilité désirée l'affaissement au cône. [30]

### II-6-3- Dosages en eau :

Connaissant C/E et le dosage en ciment (C), on déduit le dosage en eau par la formule

$$E = C / (C/E) \quad \text{en l/m}^3$$

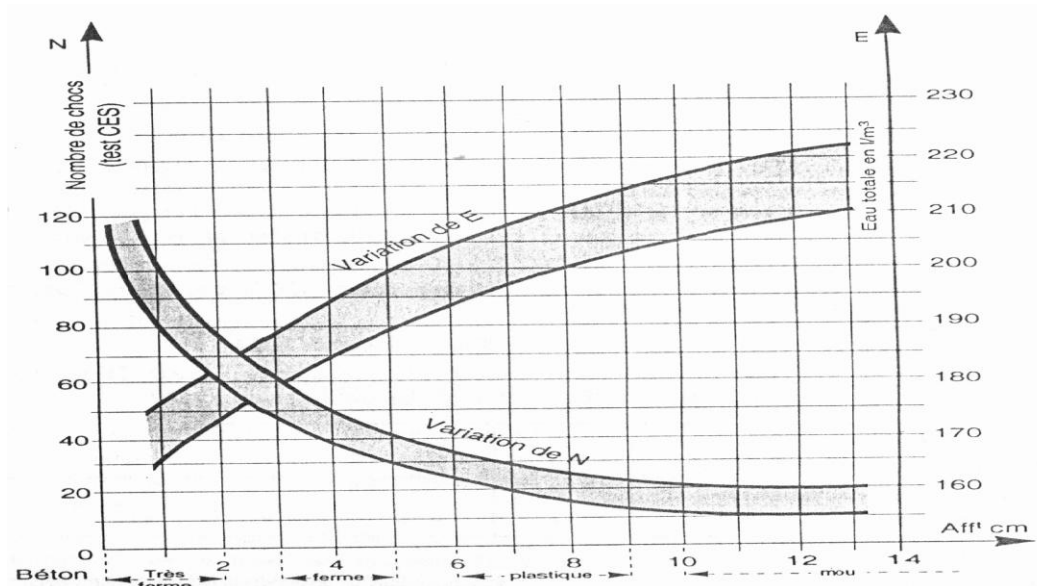


Figure (II-6): Variations relatives moyennes du dosage en eau E et du nombre de chocs du test d'ouvrabilité C.E.S. en fonction de l'affaissement, dans le cas des béton composés suivent la présente méthode (le dosage en sable augmentant quand le dosage en ciment diminue). [30]

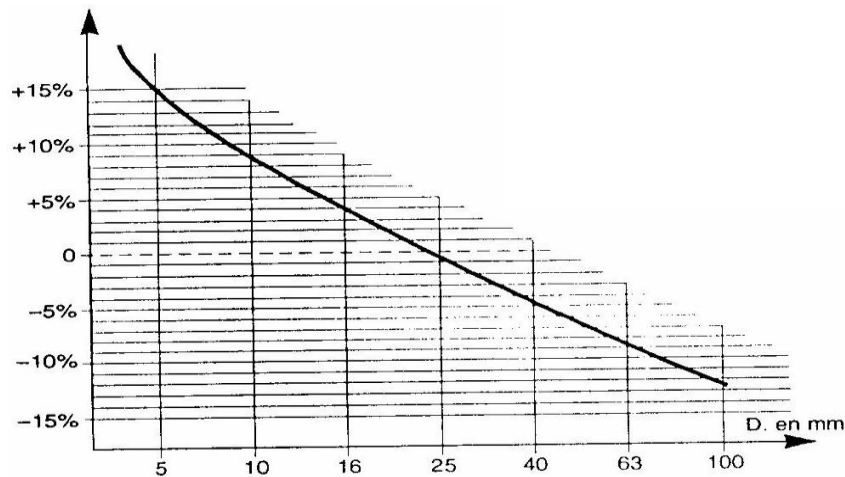


Figure (II-7): Variation suivant si variation de la correction à apporter au dosage en eau si la dimension maximale des granulats est différente de 25mm. [30]

#### II-6-4- Détermination du dosage en granulats :

Sur un graphique d'analyse granulométrique tableau (III-4) on trace la courbe granulaire de référence OAB. Le point B (à la coordonnées 100%) correspond à la dimension maximale du gravier ( $D_{max}$ ) le point C se trouve à l'origine des coordonnées et le point de brisure A a des coordonnées ainsi définies :

-En abscisse : (à partir de  $D_{max}$ ) :

Si  $D_{max} \leq 20$ , l'abscisse est  $D_{max}/2$ .

Si  $D_{max} > 20$ , l'abscisse est située au milieu du segment gravier limité par le module 38 (5mm) et le module correspondant à  $D_{max}$ .

-En ordonnée :

$$Y = 50 - \sqrt{D} + K.$$

Où K est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés, ce coefficient dépend aussi du module de finesse du sable qui est donnée par le tableau (II-3) :

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particulier)		Roulé	concassé	roulé	concassé	Roulé	concassé
Dosage en ciment	400+ fluidité	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

Tableau (II-3): La valeur K. [30]

**Nota 1 :** correction supplémentaire  $K_s$  : si le module de finesse du sable est fort (sable grossier) une correction supplémentaire sera apportée de façon à relever le point A, ce qui correspond à majorer le dosage en sable et vice versa. La correction supplémentaire (sur K) peut être effectuée en ajoutant la valeur  $K_s = 6M_f - 15$  ( $M_f$  étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une optimale de l'ordre de 2,5 pour laquelle la correction préconisée).

**Nota 2 :** correction supplémentaire  $K_p$  : si la qualité du béton est précisée « pompable » il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité « courant », on pourra pour cela majorer le terme : correcteur K de la valeur  $K_p = +5$  à  $+10$  environ, selon le degré de plasticité désiré.

On trace les courbes granulométriques de sable et des fractions du gravier sur le même graphique que la courbe de référence (courbe granulométrique), on trace alors les lignes des partages entre chacun des granulats en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du sable au point de 5% de la courbe granulaire du sable, au point de 5% de la courbe granulaire de gravier (si on utilise le gravier des plusieurs fraction). on lit alors sur la courbe de référence point d'intersection avec les droites de partages les pourcentages en volume de chacun des granulats (sable, première fraction et deuxième fraction des graviers).

Le volume absolu du granulat sont par suite :

$$V_{aG} = 100 \gamma - V_{aC}$$

Où :

$\gamma$  : Coefficient de compacité qui est donnée par le tableau suivant.

$V_{aC}$  : Volume absolue du ciment.

Consistance	Serrage	$\gamma$ coefficient de compacité						
		D=5	D=10	D=12,5	D=20	D=31,5	D=50	D=80
<b>Molle</b>	Piquage	0.750	0.780	0.795	0.805	0.810	0.815	0.820
	Vibration faible	0.755	0.785	0.800	0.810	0.815	0.820	0.825
	Vibration normale.	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
<b>Plastique</b>	Piquage	0.760	0.790	0.805	0.815	0.820	0.825	0.830
	Vibration faible	0.765	0.795	0.810	0.820	0.825	0.830	0.835
	Vibration normale	0.770	0.800	0.815	0.825	0.830	0.835	0.840
	Vibration puissant	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
<b>Ferme</b>	Vibration faible	0.775	0.805	0.820	0.830	0.835	0.840	0.845
	Vibration normale	0.780	0.810	0.825	0.835	0.840	0.845	0.850
	Vibration puissant	0.785	0.815	0.830	0.840	0.845	0.850	0.855

Tableau (II-4): Valeur du coefficient de compacité  $\gamma$  . [30]

**Remarque :** Ces valeurs sont convenables pour les granulats roulés si non il convient d'apporter les corrections, suivantes :

- sable roulé et gravier concassé on réduit 0.01.
- sable et gravier concassés on réduit 0.03.
- Les volumes absolues de chacun des granulats sont alors donnée comme suit :

$$V_s = S V_{aG}$$

$$V_{G1} = G_1 V_{aG}$$

$$V_{G2} = G_2 V_{aG}$$

La masse spécifique de chacun de ces granulats est :  $\rho_s$ ,  $\rho_{G1}$ ,  $\rho_{G2}$ , leur masse sont donc respectivement .

$$S = V_s \rho_s$$

$$G_1 = V_{G1} \rho_{G1}$$

$$G_2 = V_{G2} \rho_{G2}$$


---

Masse totale des granulats

Il reste à tester la composition ainsi définie par l'essai de fluidité et l'écrasement des éprouvettes et d'apporter, suivant les résultants des essais les corrections nécessaires.

Cette méthode est simple et pratique, mais elle utilise des graphes et des tableau pour déterminer le dosage en ciment et granulats, cela peut conduire a des erreurs si les précaution nécessaires ne sont par prises.

## II-7- Caractéristiques des matériaux utilisés pour la composition d'un béton:

### II-7-1- Les granulats:

On appelle granulat, tout matériau inerte provenant de l'érosion des roches ou de leur concassage, utilisé dans la construction, et entrant dans la composition des mortiers et bétons.

**N.B:** un granulat est dit lourd lorsque sa densité est supérieure à 1, et léger dans le cas contraire.

#### a- Classification :

\* *D'après leur provenance ou leur fabrication on distingue :*

- Granulats naturels** : utilisés directement sans aucun traitement mécanique
- Granulats Artificiels** : ils se procurent de :
  - Sous produits industriels allégés.
  - Granulats élaborés Industriellement.
  - Granulats ou frittage.

\* *Classification suivant la granularité (NF P 18-101) :* La norme définit cinq classes granulaires principales:

<b>Fines</b>	0 / D	avec	D = 0.08 mm
<b>sable</b>	0 / D	avec	D = 6.3 mm
<b>Gravier</b>	d / D	avec	d = 2mm et D = 31.5 mm
<b>Cailloux</b>	d / D	avec	d = 20mm et D = 80mm
<b>Graves</b>	d / D	avec	d = 6.3 mm et D = 80mm

**Tableau (II-5): Classification suivant la granularité (NF P 18-101). [30]**

#### b- Gravier:

On appelle " gravier " l'accumulation de grain de 5 à 70mm formés par la destruction naturelle des roches .tandis que la pierre concassée (gravier concassée) est obtenu par broyage des roches massives. [26]

\* *Granularité du gravier :* La granulométrie conditionne la porosité du mélange si tous les grains la même dimension on aurait une porosité maximale, s'ils étaient repartis suivant une courbe discontinue on pouvait avoir une porosité minimale qui assurerait un béton plus compact. [26]

La courbe granulométrique de chaque fraction ou d'un mélange de plusieurs fractions doit se situer dans les limites appelées "fuseaux de spécification ", on distingue le fuseau français, russe, anglais....etc. selon les normes de l'ex – URSS, le fuseau de spécification du gravier est présenté sur figure (II-8).

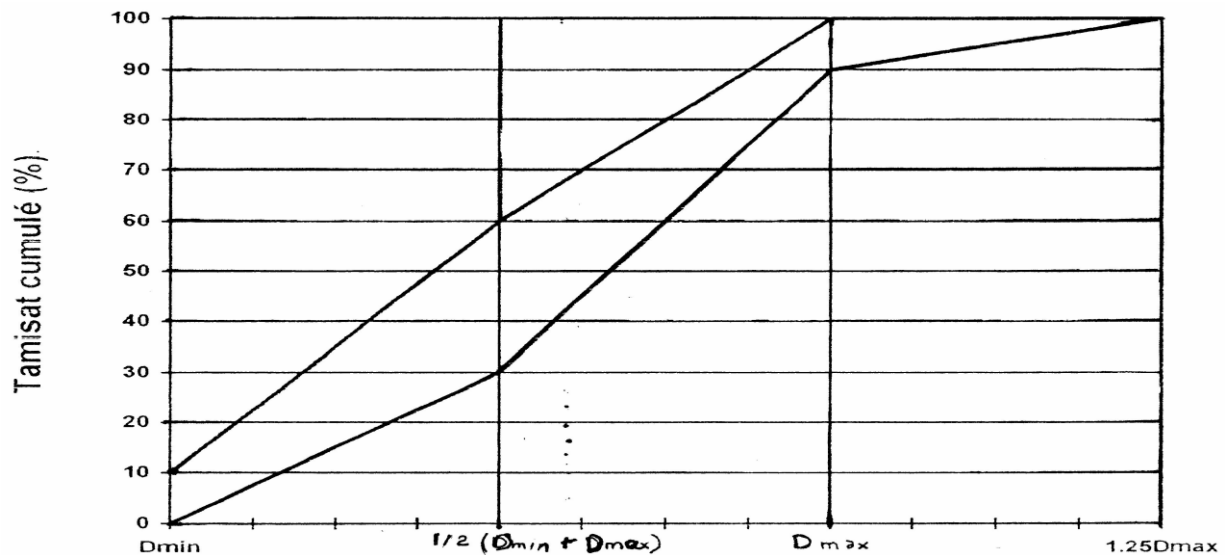


Figure (II-8): Fuseau de spécification Russe des graviers. [4]

\* **Absorption d'eau:** Le gravier en général est plus au moins poreux. Les graviers absorbent de l'eau de pluie et deviennent humide. Lors de la détermination de la composition du béton, on tiendra compte de cette humidité, sinon on aura une quantité d'eau de gâchage supplémentaire d'où une diminution de la résistance du béton d'après la loi "résistance = fonction du rapport E/C"

#### c- Sable:

On appelle "sable" les matériaux de petite dimension issues de la désagrégation naturelle ou artificielle des roches. La grosseur de ces grains est toujours, ou généralement, inférieur à 5mm.

La sable peut être naturel, c'est-à-dire extrait du lit des rivières, des sablières, rivages de la mer, ou artificiel, lorsqu'il est obtenu par broyage des roches dures (porphyre, calcaire, quartzite, granit,...).

Le sable utilisé doit être rugueux, graveleux, rude au touché, il ne tache pas et ne s'attache pas, ne doit comporter ni terre ni matières organique ni argiles, il crispe sous la pression de la main et s'écoule entre les doigts dans son état sec.

\* **Granularité :** La composition granulométrique de sable est d'une grande importance pour la qualité des béton, il doit être composés de grains de dimensions différentes (0.14a 5 mm) pour assurer un volume minimale des vides moins le volumes des vides dans le sable est grand, moins il faut de ciment pour obtenir un béton compact. [4]

La composition granulométrique du sable est exprimée par une courbe granulométrique, formée a base de refus cumulés ou tamisas cumulés cette courbe doit se trouver a l'intérieur d'une zone normalisée dite " fuseau de spécification " qui traduit une bonne granularité du sable.

Le fuseau de spécification est prescrit dans les normes de différents pays sous différentes formes, ci-dessous, nous présentons les fuseaux de spécification des normes françaises et russes respectivement figure (II-8) et figure (II-9).

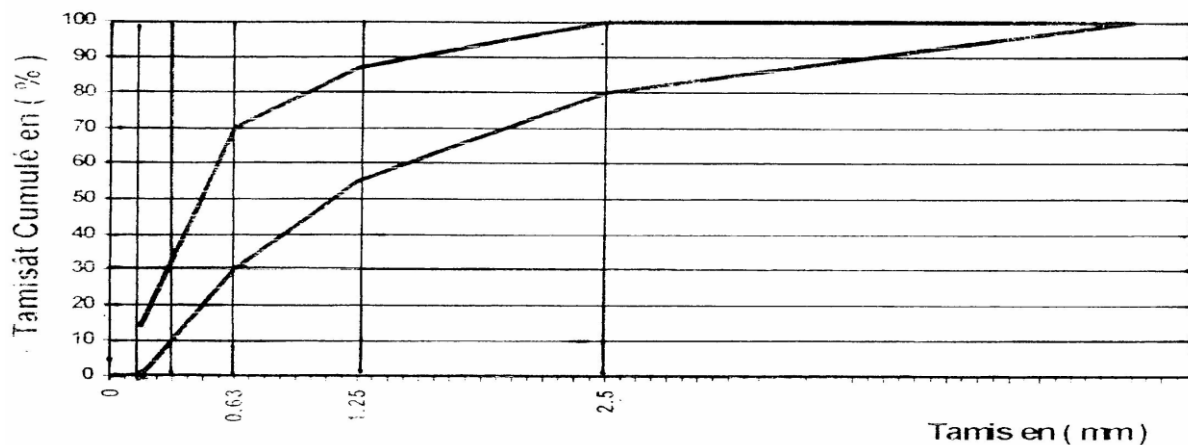


Figure (II-9): Fuseau de spécification Russe pour les sable admissibles aux bétons. [26]

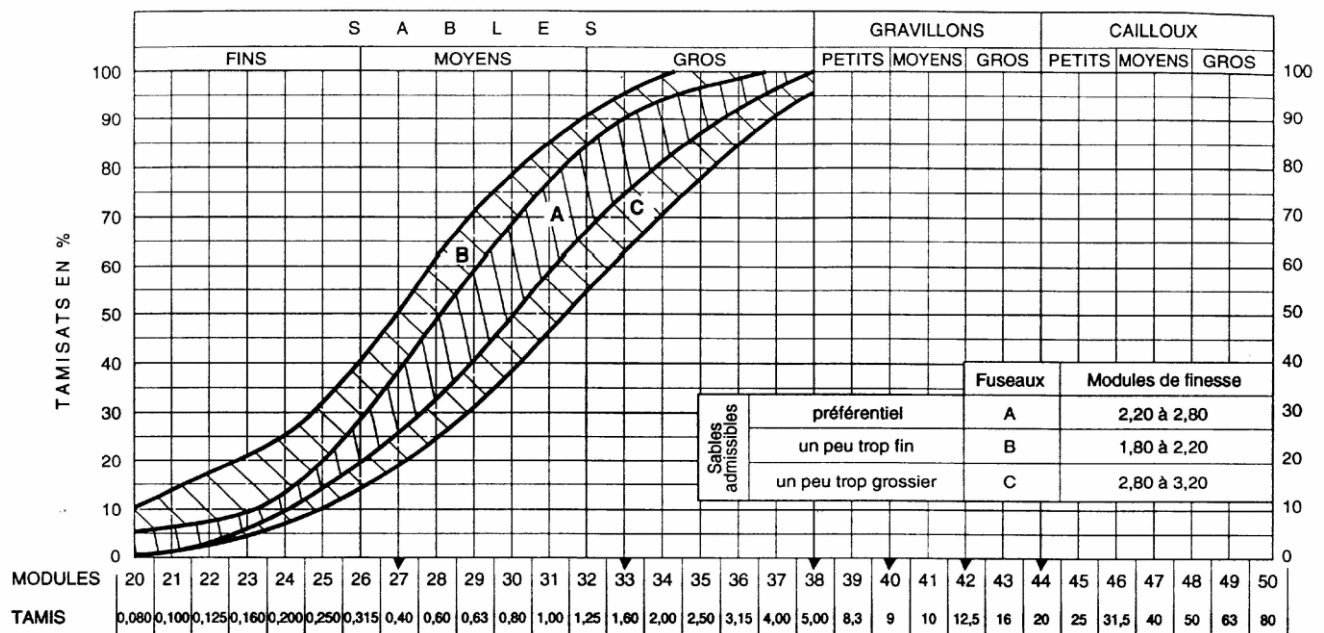


Figure (II-10): Fuseaux proposés pour la granularité des sables à béton. [30]



**\*Absorption d'eau :** Le sable a la capacité de retenir une quantité d'eau très importante, le sable fine absorbe plus d'eau par suite de sa porosité importante et de sa grande surface spécifique.

Lors de la détermination de la composition du béton, le besoin en eau du sable doit être pris en compte vis-à-vis de la quantité d'eau de gâchage nécessaire.

**\* Module de finesse:** Nombre égale au centième de la somme des refus cumulés, exprimée en pourcentage sur une série spécifiée de tamis (conformément à la norme (NF P 18-101). le module de finesse d'un sable pour béton est généralement compris entre 2 et 3, plus le sable est fin, plus son module de finesse est petit. [28]

### **II-7-2- Les liants:**

On sait que les liant hydrauliques sont les poudres fines constituée de silicates et d'aluminates de chaux qui s'hydratent en présence d'eau pour donner naissance a un matériau solide, véritable roche artificielle, les liants hydrauliques peuvent agglomérer une forte proportion de matière inerte d'où leur emploi bien connu pour la fabrication des bétons.

Le liant est capable de durcir sous l'eau d'où leur nom de "liant hydrauliques". [28]

Les liants les importantes et les plus employés dans la construction actuelle sont le ciment portland artificiel (C.P.A) et voici les différents types de ciment:

- Ciment de haut-fourneau C.H.F.
- Ciment de laitier.
- Ciment pozzolanique.
- Ciment portland composé CPC, CPJ.
- Ciment portland composé CPC, CPJ.

### **II-7-3- Eau de gâchage :**

L'eau de gâchage est la quantité d'eau ajouté au mélange sec de béton, elle remplit deux fonction : d'une part elle sert à l'hydratation du liant et d'autre part, elle permet la fluidification du mélange ayant pour but de faciliter la mise en place du béton.

#### **a- Caractéristiques physiques :**

L'eau doit être propre, elle ne doit pas contenir des matières en suspension au-delà de :

- 2g/l pour les bétons de types A et B.
  - 5g/l pour les bétons de type C.
- Béton A: béton de haute qualité a forte résistance.  
Béton B: béton a grande imperméabilité.  
Béton C: béton courant peu ou non armé. [30]

#### **b- Caractéristiques chimiques :**

L'eau ne doit pas contenir de sels dessous au-delà de :

- 1.5g/l pour les bétons de types A et B.
- 3g/l pour le béton de type C. [30]

#### **II-7-4- Les adjuvants:**

Les adjuvants sont des produits solubles dans l'eau, qu'on ajoute aux mélanges lors des fabrications du béton, dans le but de modifier ou d'améliorer une ou plusieurs de ces propriétés.

Ils se présentant sous forme de poudre ou plus souvent de liquide et leur dosage doit être inférieur ou égale à 5% du poids de ciment.

Les principales fonctions retenues par les différentes commissions sont les suivantes:

- hydrofuge.
- entraîneur d'air.
- antigel bivalent.
- plastifiant.
- accélérateur de durcissement.
- retardateur de (prise, durcissement).
- antigel (pour protection du béton durci) et accélérateur de prise. [27]

## Chapitre III : Caractéristique des matériaux utilisés et procédures expérimentales

### Introduction :

Dans ce chapitre nous présenterons les différentes caractéristiques des matériaux utilisés, entrant dans la composition des bétons à confectionner et cela à partir des essais effectués au laboratoire, ces matériaux sont purement locaux.

### III-1- Les pierres concassées :

Les pierres concassées utilisées sont de différentes fractions et proviennent de la carrière de COSIDER, située à ELEUCH (BBA).

#### III-1-1- Caractéristiques de pierres concassées utilisées :

##### a- Composition chimique du gravier :

Oxydes	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
Teneur (%)	40.65	8.87	40.56	3.25	3.65	0.79	0.65	0.01

Tableau (III-1) : analyse chimique des pierres concassées.

##### b- Analyse granulométrique :

Pour notre étude, nous utilisons deux fractions de pierres concassées selon leurs dimensions (3/8 ,8 /16).

\* **But de l'essai** : L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la répartition d'un matériau suivant ses dimensions.

\* **Choix de l'échantillon** : On fait l'essai sur chaque type de gravier sans le mélanger avec un autre, et cela après tamisage, lavage et séchage, on prend une quantité de gravier et selon le diamètre maximale des grains. Le choix était d'après le tableau suivant :

Poids de l'échantillon (kg)	D <sub>max</sub> (mm)
2	0/5 sable
1.5	3/8 graviers
2.30	8/16 graviers

Tableau (III-2) : détermination de l'échantillon de pierre concassée d'après D<sub>max</sub>.

Dans la pratique, la masse utilisée sera telle que :  $M > 0.20 D_{max}$ .

Avec :

D : le diamètre maximal des grains.

### **Chapitre : III** ————— **Caractéristique des matériaux utilisés et procédures expérimentales**

Les dimensions des mailles et nombre de tamis sont choisis en fonction de l'échantillon.

Les tamis qu'on utilise sont classés d'après le tableau suivant :

<b>Sable (mm)</b> <b>(0/5)</b>	<b>Gravier (mm)</b> <b>(3/8)</b>	<b>Gravier (mm)</b> <b>(8/16)</b>
5	8	16
2.5	6.3	12.5
1.25	5	10
0.63	4	8
0.315	3.15	6.3
0.16	2.5	Fond
0.08	Fond	/

**Tableau (III-3) : Choix des tamis selon le diamètre des grains.**

Le tamisage se fait à l'aide d'un jeu de tamis de diamètre connu, après vibration pendant 7 min à chaque fois.

\* **Refus partiel** : Le pourcentage des grains d'un échantillon retenu par un tamis dans une série de tamis.

\* **Refus cumulé** : Le pourcentage des grains d'un échantillon retenu par un tamis et les tamis qui le précède dans une série de tamis.

\* **Tamisât** : Le pourcentage des grains d'un échantillon passant par un tamis.  
L'essai a été fait sur deux échantillons (3/8,8/16).

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau (III-4) :

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
3/8	8.00	32.00	32.00	2.13	97.86
	6.30	411.00	443.00	29.53	70.46
	5.00	420.00	863.00	57.53	42.46
	4.00	465.00	1328.00	88.53	11.46
	3.15	141.00	1469.00	97.93	2.06
	2.50	25.00	1494.00	99.60	0.40
	Fond	6.00	1500.00	100	00.00
8/16	16.0	25.40	25.4	1.27	98.73
	12.5	246.10	271.5	13.57	86.43
	10.0	1104.90	1376.40	68.78	31.211
	08.0	474.20	1850.60	92.48	7.512
	06.3	133.20	1983.80	99.15	0.855
	05.0	9.30	1993.10	99.61	0.390
	Fond	7.20	2000.30	99.79	0.030

Tableau (III-4) : Analyse granulométrique des pierres concassées.

#### c- Masse volumique absolue :

\* **But de la mesure** : Cet essai a pour but de connaître la masse d'une fraction granulaire lorsque par exemple on élabore une composition de bétons, ce paramètre permet, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires malaxées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

\* **Définition de la masse volumique absolue** : C'est la masse de l'unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains.

\* **Mode opératoire** : - Remplir une éprouvette graduée avec un volume  $V_1$  d'eau ( $V_1 = 300\text{ml}$ ).

- Peser un échantillon sec  $M$  de granulats ( $M=300\text{g}$ ) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.

- Le liquide monte dans l'éprouvette, lire le nouveau volume  $V_2$ .

La masse volumique est alors :

$$\rho_s = M / (V_2 - V_1)$$

On fait l'opération trois fois et on trouve les résultats dans le tableau (III-5) :

Gravier	N°d'essai	M (g)	V <sub>1</sub> (ml)	V <sub>2</sub> (ml)	ρ (g/ml)	ρ moy (g/ml)
3/8	1	300	300	420	2.50	2.50
	2	300	300	420	2.50	
	3	300	300	420	2.50	
8/16	1	300	300	420	2.50	2.50
	2	300	300	420	2.50	
	3	300	300	420	2.50	

Tableau (III-5) : masse volumique absolue des pierres concassées.

**d- Masse volumique apparente :**

La masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume y compris le volume des existants entre les grains le constituant (volume apparent).

\* **Mode opératoire** : On un échantillon jusqu'à un poids constant puis on pèse le récipient à l'état vide, on note M<sub>1</sub>, on le remplit de gravier à l'aide d'une truelle le séparant de 10cm. Avec une certaine excédant que l'on relève on arrose la surface, on pèse à nouveau le récipient plein, on note M<sub>2</sub>, la masse volumique apparente qui est déterminée par :

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

L'essai à été fait trois fois on a obtenu les résultats regroupés dans le tableau suivant :

gravier	N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	ρ Moyen
3/8 (V =7L)	1	12310	2922	1.34	1.38
	2	12741	2922	1.40	
	3	12736	2922	1.40	
8/16 (V =10L)	1	17400	3490	1.39	1.383
	2	17376	3490	1.38	
	3	17355	3490	1.38	

Tableau (III-6) : la masse volumique apparente des pierres concassées.

**e - Coefficient d'absorption des granulats : (NF P 18-554 et 18-555)**

\* **But de la mesure** : Certains matériaux granulaires peuvent présenter une porosité interne qui est préjudiciable, en particulier, à la résistance au gel des bétons. En effet l'eau incluse dans le granulat provoque l'éclatement du béton lorsque celui-ci est soumis de manière prolongée à des basses températures. [31]

\* **Principe de la mesure** : On détermine un coefficient d'absorption, qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse sèche de l'échantillon. Après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 Heures à 20 C<sup>0</sup>.

Le coefficient d'absorption **Ab** est défini par la relation :

$$Ab = \frac{M_a - M_s}{M_s} \times 100$$

Où :

$M_s$  : L'échantillon sec après passage à l'étuve à 105 C<sup>0</sup>.

$M_a$  : Masse de l'échantillon imbibé. [31]

$M_s$ (g)	$M_a$ (g)	Ab (%)
492.11	500	1.57

**Tableau (III-7) : Coefficient d'absorption des pierres concassées.**

**f- Teneur en eau : selon la norme (NFP 18-555)**

Les pierres concassées à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande. Si son humidité est comprise entre la limite de 0 à 5 %, on l'appelle sec.

\* **mode opératoire** : - peser un échantillon de gravier humide, soit  $M_h$  son poids (1000g).

- laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de 105C<sup>0</sup> à 110C<sup>0</sup> pendant 24 heures.

- peser l'échantillon de nouveau, soit  $M_s$  son poids.

$$w = \frac{[(M_h - M_s) \times 100]}{M_s} (\%)$$

Où :

$M_h$  : Poids de gravier humide en kg.

$M_s$  : Poids de gravier sec en kg.

N° d'essai	$M_h$ (g)	$M_s$ (g)	W (%)
1	1000	997	0.30

Tableau (III-8) : teneur en eau des pierres concassées.

**g- porosité ; compacité ; indice de vide :**

On calcul la porosité d'après la formule suivante :

$$p = \left( 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right) \times 100\%$$

La compacité selon la formule suivante :

$$c = \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 1 - p$$

L'indice de vide d'après la c'est le rapport entre la porosité et la compacité :

$$e = \frac{p}{c}$$

On obtient les résultats suivants :

Type d'agrégats (mm)	Compacité (c)	Porosité (p)	Indice de vide (e)
3/8	0.5620	44.80	0.790
8/16	0.5632	44.68	0.793

Tableau (III-9) : porosité –compacités –indice de vide des pierres concassées.

**III-2- Le sable :**

Pour notre étude, le sable utilisé est une fraction 0 à 5mm qui provient d'oued MAATER Boussaâda (M' SILA). (C'est un sable de dune).

**III-2-1- Caractéristiques du sable utilise :**

**a- composition minéralogique du sable :**

Oxydes	$SiO_2$	$Al_2O_3$	CaO	$Fe_2O_3$	$SO_3$	$K_2O$	MgO	$Na_2O$
Teneur (%)	89.67	0.90	5.96	0.91	0.05	0.3	0.2	0.01

Tableau (III-10) : composition minéralogique du sable.



**b- Analyse granulométrique :**

La composition granulométrique est exprimée par une courbe granulométrique qui est formée sur la base des tamisas ou refus cumulés.

Cette courbe doit se trouver entièrement dans une zone normalisée (dite fuseau de spécification), ce qui traduit une bonne granularité du sable.

Cette courbe est représentée par la figure (IV-2), l'analyse à été fait sur un échantillon de 1000g de sable sec. [31]

- \* Mode opératoire :** - peser 1000g d'un échantillon de sable sec.  
- peser chaque tamis vide à 1g précision.  
- préparer la colonne des tamis dont les dimensions des trous sont de haut en bas : (5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.16, 0.08.)mm.  
- verser le sable dans la colonne des tamis.  
- agiter mécaniquement cette colonne pendant 5mn.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau suivant :

tamis (mm)	refus partiel(g)	refus cumulés(g)	refus cumulés (%)	tamisât cumulés(%)
5	0	0	0	100
2,5	11	11	0,55	99,45
1,25	112	123	6,15	93,85
0,63	238	361	18,05	81,95
0,315	681	1042	52,1	47,9
0,125	903	1945	97,25	2,75
0,08	41	1986	99,3	0,7
fond	11	1997	99,85	0,15

**Tableau (III-11) : analyse granulométrique du sable.**

**\* Module de finesse :** C'est un facteur très important qui nous permet de juger la grosseur du sable. Il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés par les tamis (0.16, 0.32, 0.63, 1.25, 2.5, 5).

Il est donné par la relation suivante:

$$M_f = \sum R_c / 100$$
$$M_f = 1.74$$

A partir ce résultat, on peut dire le sable très fin.

**c- La masse volumique absolue :**

Même procédé de détermination que pour le gravier, on détermine la masse volumique absolue pour le sable.

\* **Mode opératoire :** Verser une quantité de sable de masse  $M_s = 250\text{g}$  dans une éprouvette graduée, contenant déjà un volume d'eau  $V_w = 300\text{ ml}$ .

On effectue alors la lecture de volume, la masse volumique absolue est exprimée par la formule :

$$\rho_s = M_s / (V_s - V_w).$$

Avec :

$M_s$  : la masse du sable (g).

$V_w$  : le volume d'eau (ml).

$V_s$  : le volume du sable + le volume d'eau (ml).

On a fait l'opération trois fois :

N° essai	$V_w$ (ml)	$V_s$ (ml)	$\rho$ (g/ml)	$\rho_{\text{moy}}$ (g/ml)
1	300	400	2.50	2.50
2	300	399	2.52	
3	300	400	2.50	

**Tableau (III-12) : La masse volumique absolue de sable.**

**d- La masse volumique apparente de sable :**

\* **Mode opératoire :** -on pèse un récipient de capacité  $V_r = 0.9\text{L}$ , soit  $M_1$  sa masse à vide.

-on verse du sable à une hauteur de 10cm au dessous une fois ce dernier est rempli, on nivelle la surface du sable et on posons l'ensemble (récipient+sable), soit  $M_2$  son poids, la masse volumique à l'état lâche est donnée par la formule suivante :

$$\gamma_{\text{app}} = M_2 - M_1 / V_r \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

Essai	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	$\gamma_p$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_p$ moy
1	117.1	1402	1.427	1.426
2	117.1	1400	1.425	
3	117.1	1401	1.426	

**Tableau (III -13) : Masse volumique apparente du sable.**

**e- Teneur en eau :**

Selon la norme (NFP 18-555), Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande. Si son humidité est comprise entre la limite de 0 à 3 %, on l'appelle sec.

- \* **Mode opératoire** : - peser un échantillon de sable humide, soit  $M_h$  son poids (1000g).  
 - laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de  $105C^0$  à  $110C^0$  pendant 24 heures.  
 - peser l'échantillon de nouveau, soit  $M_s$  son poids.

$$W = \frac{[(M_h - M_s) \times 100]}{M_s} (\%)$$

Où :

$M_h$  : Poids de sable humide en kg.

$M_s$  : Poids de sable sec en kg.

N° d'essai	$M_h$ (g)	$M_s$ (g)	W (%)
1	1000	975	0.5

**Tableau (III-14) : teneur en eau du sable.**

**f- Degré d'absorption d'eau :**

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau. Elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante :

$$Ab = \frac{(M_a - M_s)}{M_s} \times 100$$

Où :

$M_a$  : La masse du matériau saturé d'eau en kg.

$M_s$  : La masse du matériau sec en kg.

N° d'essai	$M_s$ (g)	$M_a$ (g)	Ab (%)
1	1000	1023	2.3

**Tableau (III-15) : Degré d'absorption d'eau du sable.**

**g- Equivalent de sable :**

\* **But** : la mesure de l'équivalent de sable à pour but d'apprécier la qualité d'un sable en évaluant la proportion relative des poussières fines ou des éléments argileux ce sable par rapport aux éléments sableux.

### **Chapitre : III** ————— **Caractéristique des matériaux utilisés et procédures expérimentales**

\* **Principe** : on lave l'échantillon avec une solution normalisée très active, les éléments argileux Flocculent, on laisse.

\* **Mode opératoire** : -Remplir le récipient d'une quantité d'une solution 10ml.

-Verser soigneusement une mesure de l'échantillon (environ 120g de sol sec) a étudié, à l'aide de l'entonnoir, dans l'éprouvette placé verticalement.

-Taper a plusieurs reprises le bas de l'éprouvette cylindrique fortement sur la paume de la main pour déloger les bulles d'air et favoriser un bon mouillage d'échantillon.

-laisser reposer 10mn.

-boucher l'éprouvette a l'aide de bouchon de caoutchouc.

-la secouer horizontalement 90 fois aller-retour en 30scd avec une course d'environ 20cm.

-ôter le bouchon de caoutchouc et le rincer au-dessus de l'éprouvette avec la solution lavant.

-en descendant le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette tout en imprimant ou tube un léger piquage.

-au bout de 20mn, montre la hauteur au niveau supérieur par rapport au fond de l'éprouvette : soit  $H_1$ .

-mesurer également, si possible, la hauteur  $H'_2$  du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.

-descendre doucement le piston taré dans l'éprouvette jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment.

-noter le niveau du sédiment au centre des vis radiales; soit :  $H_2$ .

L'équivalent du sable est donné par la formule suivant :

$$ES = \frac{\text{lecture du niveau supérieur du sédiment (sable)}}{\text{lecture du niveau supérieur du flocculent (argile)}}$$

Soit :

$$ES(piston) = \frac{H_2}{H_1} \times 100$$

$$ES(visuel) = \frac{H'_2}{H_1} \times 100$$

Il faut bien remarquer que  $H_1 > H_2$ .

$H_1$  = La hauteur du sable + flocculat.

$H_2$  = la hauteur du sable (visuel).

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (III-16) :

A : Lecteur visuel		
Essai	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>
1	13.5	7.8
2	13	8
3	13	8
Valeur moyenne	13.16	7.93

B : Lecteur avec piston		
Essai	H <sub>1</sub>	H' <sub>2</sub>
1	13.5	6.6
2	13	6.2
3	13	6.2
Valeur moyenne	13.16	6.33

**Tableau (III-16) : Valeurs d'équivalent de sable.**

$$ESV = H_2 / H_1 \times 100 = 7.93 / 13.16 \times 100 = 60.25 \%$$

$$ESP = H'_2 / H_1 \times 100 = 6.33 / 13.16 \times 100 = 48.100 \%$$

**Remarque :** le sable donc impropre à la fabrication d'un bon béton, pour cela, il doit être lavé avant utilisation.

### III-3- Le ciment :

Pour les travaux, on utilise un ciment (CPJ) provenant de la cimenterie de Hammam ELdalâa, M'sila de classe commerciale 42.5, mais sa résistance moyenne a 28 jours (classe vraie), est estimé a 480 bars.

#### a- Composition chimique de CPJ :

Les composants	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	k <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Chaux libre
Pourcentage (%)	20.70	4.75	62.92	3.75	1.98	0.39	0.09	0

**Tableau (III-17) : Composition chimique de CPJ.**

$$\text{Surface spécifique} = 4400 \text{ g /cm}^3.$$

**b- La masse volumique absolue :**

La masse volumique absolue est déterminée par une méthode simplifiée comme autre matériau avec remplacement l'eau par gazole ou essence.

N <sup>o</sup> d'essai	M (g)	V (cm <sup>3</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{moy}$ (g/cm <sup>3</sup> )
1	60	18	3.33	3.11
2	60	20	3.00	
3	60	20	3.00	

Tableau (III-18) : La masse volumique absolue du ciment.

**c- La masse volumique apparente :**

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

M<sub>1</sub> : poids du récipient.

M<sub>2</sub> : poids du récipient + ciment.

V<sub>r</sub> : volume du récipient = 0.9 litre.

N <sup>o</sup> d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\gamma_p$ (g / cm <sup>3</sup> )	$\gamma_{p\ moy}$ (g / cm <sup>3</sup> )
1	303	1380	1.196	1.192
2	303	1374	1.190	
3	303	1376	1.192	

Tableau (III-19) : masse volumique apparente du ciment.

**d- L'eau de gâchage :**

L'eau de gâchage utilisée est une eau potable fournie au laboratoire, elle est acceptable pour la confection des bétons.

**III-4- Le déchets PVC et PEHD :**

**III-4-1- Déchets PVC :**

**a- La composition chimique de PVC :**

Le PVC est composé de chlore (57 % en poids) et d'éthylène, hydrocarbure composé de carbone et d'hydrogène (43 %) issu du pétrole.

Par réaction entre le chlore et l'éthylène, on obtient le chlorure de vinyle monomère (CVM) qui, par polymérisation, donne le PVC. La polymérisation est la réaction chimique par laquelle les molécules s'additionnent les unes aux autres pour former une chaîne de grande longueur. [32]

**b- Caractéristiques techniques :**

Les matières plastiques présentent un avantage particulier, par rapport à des matériaux traditionnels : elles permettent d'obtenir dans un seul matériau, des propriétés variées et éventuellement contradictoires. L'exemple le plus significatif est l'association entre légèreté et résistance.

Le choix d'une matière plastique pour une application déterminée, se fait donc, en fonction des caractéristiques et des performances que devra présenter le produit fini. C'est sans aucun doute ce qui explique le succès du PVC qui peut être souple ou rigide, transparent ou opaque, incolore ou teinté, compact ou cellulaire.

En fonction des applications, les fabricants recherchent des qualités bien précises :

- résistance mécanique ;
- légèreté ;
- non-biodégradabilité ;
- faible inflammabilité naturelle ;
- résistance (chaleur, U.V., corrosion...) ;
- inertie ;
- imperméabilité ;
- facilité d'entretien ;
- isolation électrique, acoustique...
- innocuité (santé, contact alimentaire) ;
- possibilité de coloration (en masse ou en surface par divers procédés). [32]

**III-4-2- Le polyéthylène haut densité (PEHD) :**

**a- Présentation :**

Le polyéthylène haute densité (PEHD) a été synthétisé en 1953 par le chimiste allemand Karl Ziegler.

**b- Propriétés rhéologiques :**

Le PEHD à l'état fondu présente un comportement viscoélastique non linéaire, cela signifie que sa viscosité diminue avec l'augmentation du cisaillement. Lors de l'extrusion, le polyéthylène est soumis à un gradient de vitesse de cisaillement, du cylindre de l'extrudeuse à la filière. Il est donc important de connaître la courbe de viscosité-vitesse de cisaillement sur l'étendue de la plage de cisaillement. La mesure de l'indice de fluidité à chaud (IF) permet d'estimer la viscosité à une vitesse de cisaillement donnée. [33]

**c- Propriétés mécaniques :**

- La rigidité et la dureté du PEHD augmentent avec la densité, et donc avec la cristallinité.
- La rigidité est mesurée au moyen de module d'élasticité qui varie d'environ 1600 MPa.

Le PE est un thermoplastique résistant au choc et à l'impact, même à des basses températures ( $T < 0^{\circ}\text{C}$ ), due à sa faible température de transition vitreuse  $\ll T_g \gg$  (jusqu'à  $-110^{\circ}\text{C}$ ).

Cette résistance est d'autant meilleure que :

- La masse molaire est plus élevée.
- La cristallinité est plus faible.
- La distribution des masses moléculaires est plus large.

Le touché paraffinique du PE lui assure un faible coefficient de friction. Sa résistance à l'abrasion augmente avec la masse moléculaire et la cristallinité. Elle est remarquable pour les PEHD de masse moléculaire très élevée. [33]

#### **d- Propriétés thermiques :**

Le point de fusion du PEHD se situe entre 120 et 136°C. La conductivité thermique et le coefficient de dilatation thermique linéaire sont fonction du taux de cristallinité, ils sont plus élevés pour les homopolymères que les copolymères. [33]

#### **e- Propriétés chimiques :**

Propriétés chimiques du PE vis-à-vis des agents chimiques sont déterminées par leur structure paraffinique apolaire, par son caractère cristallin et sa très haute masse moléculaire. Il résiste bien aux acides forts (les acides inorganiques) et les bases fortes (les solutions salines), mais il est attaqué par les acides oxydants (les acides nitriques concentrés).

Il se gonfle dans les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques et dans leurs dérivés halogénés, dans lesquels il se dissout à température élevée, ce qui explique sa grande perméabilité aux vapeurs de ces produits.

Il est également peu perméable à la vapeur d'eau, à cause de son caractère hydrophobe (l'absorption d'eau est d'environ 0.01% et 0.5 % pour le PE contenant du noir de carbone). [33]

#### **III-4-3- Méthode d'utilisation des déchets de PVC et PEHD :**

Utilisation des déchets dans ce travail de deux façons La première façon directement sans traitement, la deuxième méthode après traitement par la résine.



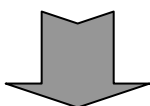
**a- traitement des déchets PVC et PEHD :**

Les étapes de traitement des déchets PVC et PEHD sont représentées aux photos suivantes :

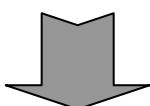
**Déchets de PVC**



Particules de déchets  
avant traitement.

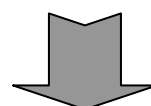
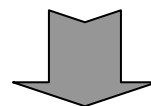


L'opération de  
traitement.



Séchage des particules  
de déchets après  
traitement.

**Déchets de PEHD**



**Figure (III-1): traitement des déchets PVC et PEHD.**

#### III-4-4- la Masse volumique absolue et apparente de PVC et PEHD:

##### a- La masse volumique apparente :

\* **Mode opératoire** : -on pèse un récipient de capacité  $V_r = 0.9L$ , soit  $M_1$  sa masse à vide.

-on verse du verre concassé à une hauteur de 10cm au dessous une fois ce dernier est rempli, on nivelle la surface du verre concassé et on posons l'ensemble (récipient+verre ), soit  $M_2$  son Poids, la masse volumique à l'état lâche est donnée par la formule suivante :

$$\delta_{app} = M_2 - M_1 / V_r \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

\* **La masse volumique apparente de PVC avant traitement** :

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	V(ml)	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ moy
1	115.8	809.3	900	0.77	<b>0.77</b>
2	115.8	809.3		0.77	
3	115.8	809.3		0.77	

Tableau (III-20) : masse volumique apparente des granulats PVC avant traitement.

\* **La masse volumique apparente de PVC après traitement** :

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	V(ml)	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ moy
1	115.5	628.9	900	0.570	<b>0.570</b>
2	115.5	628.8		0.570	
3	115.5	628.9		0.570	

Tableau (III-21) : masse volumique apparente des granulats PVC après traitement.

A partir les résultats on remarque que, la masse volumique apparente des granulats PVC est diminuée due à l'augmentation de volume de granulats après le traitement.

\* **La masse volumique apparente de PEHD avant traitement** :

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	V(ml)	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ moy
1	115.8	486	900	0.41	<b>0.41</b>
2	115.8	486		0.41	
3	115.8	486		0.41	

Tableau (III-22) : masse volumique apparente des granulats PEHD avant traitement.

**\* La masse volumique apparente de PEHD après traitement :**

N° d'essai	M1(g)	M2(g)	V(ml)	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ moy
1	115.5	449.00	900	0.370	0.365
2	115.5	443.00		0.363	
3	115.5	443.10		0.364	

**Tableau (III-23) : masse volumique apparente des granulats PEHD après traitement.**

A partir les résultats on remarque que, la masse volumique apparente des granulats PEHD est diminuée due à l'augmentation de volume de granulats après le traitement.

**b- La masse volumique absolue :**

Pour mesurer la masse volumique absolue du granulat PVC on utilise l'eau, mais dans le cas de PEHD on utilise l'alcool bleu méthylène.

Les résultats dans les tableaux suivants:

**\* La masse volumique absolue de PVC avant traitement :**

N°d'essai	M(g)	V1 (ml)	V2 (ml)	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ moy (g/ml)
1	80	140	189	1.63	1.63
2	80	140	189	1.63	
3	80	140	189	1.63	

**Tableau (III-24) : masse volumique absolue des granulats PVC avant traitement.**

**\* La masse volumique absolue de PVC après traitement :**

N°d'essai	M(g)	V1 (ml)	V2 (ml)	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ moy (g/ml)
1	80	100	150.60	1.580	1.577
2	60	100	138.00	1.578	
3	100	100	163.50	1.574	

**Tableau (III-25) : masse volumique absolue des granulats PVC après traitement.**

A partir les résultats on remarque que, la masse volumique absolue des granulats PVC est diminuée due à l'augmentation de volume de granulats après le traitement.

**\* La masse volumique absolue de PEHD avant traitement :**

N°d'essai	M(g)	V1 (ml)	V2 (ml)	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ moy (g/ml)
1	80	100	198	0.816	0.816
2	80	100	199	0.808	
3	80	100	198	0.824	

**Tableau (III-26) : masse volumique absolue des granulats PEHD avant traitement.**

\* La masse volumique absolue de PEHD après traitement :

N°d'essai	M(g)	V1 (ml)	V2 (ml)	$\rho$ (g/ml)	$\rho$ moy (g/ml)
1	22.4	80	102	1.01	0.986
2	40	100	141	0.97	
3	45	119	165	0.97	

Tableau (III-27) : masse volumique absolue des granulats PEHD après traitement.

A partir des résultats on remarque que, la masse volumique absolue des granulats PVC est augmentée due à l'augmentation de la masse des granulats après le traitement.

#### III-4-5- Porosité et capacité et l'indice de vide :

a-Avant traitement :

Les granulats	Compacité (c)	Porosité (p)%	Indice de vide (e)
PVC	0.4730	52.70	1.11
PEHD	0.5024	49.75	0.99

Tableau (III-28) : Porosité – compacité – indice de vide du PVC et PEHD avant traitement.

b-après traitement :

Les granulats	Compacité (c)	Porosité (p)%	Indice de vide (e)
PVC	0.3420	65.80	1.92
PEHD	0.3802	62.98	1.65

Tableau (III-29): Porosité – compacité – indice de vide du PVC et PEHD après traitement.

#### III-4-6- Analyse granulométrique :

a- Analyse granulométrique de PVC :

\* Avant traitement :

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
PVC	8.00	533.10	533.10	53.31	46.69
	6.30	210.20	743.30	74.33	25.67
	5.00	88.10	831.40	83.14	16.86
	4.00	78.80	910.20	91.02	8.98
	3.15	35.80	946.00	94.60	5.40
	2.50	14.50	960.50	96.05	3.95
	Fond	39.50	1000.00	100.00	00.00

Tableau (III-30) : Analyse granulométrique de PVC avant traitement.

*\* après traitement :*

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
PVC	8.00	630.80	630.80	90.20	9.80
	6.30	31.40	663.20	94.86	5.14
	5.00	20.70	682.90	97.68	2.32
	4.00	10.90	693.80	99.24	0.76
	3.15	3.40	697.20	99.72	0.28
	2.50	1.00	698.20	99.87	0.13
	Fond	0.90	699.10	100.00	00.00

Tableau (III-31) : Analyse granulométrique de PVC après traitement.

**b- Analyse granulométrique de PEHD :**

*\* Avant traitement :*

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
PEHD	8.00	3.90	3.90	0.60	99.40
	6.30	304.90	308.80	47.50	52.50
	5.00	208.70	517.5	79.61	20.39
	4.00	87.00	604.50	93.00	7.00
	3.15	24.50	629.00	96.76	3.24
	2.50	9.90	638.90	98.29	1.71
	Fond	11.10	650.00	100.00	00.00

Tableau (III-32) : Analyse granulométrique de PEHD avant traitement.

*\* après traitement :*

Type de granulats	Maille de tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
PEHD	8.00	283.9	283.90	56.74	43.26
	6.30	61.70	345.60	69.07	30.93
	5.00	88.4	434.00	86.74	13.26
	4.00	36.00	470.00	93.94	6.06
	3.15	18.80	488.80	97.70	2.30
	2.50	6.90	495.70	99.05	0.95
	Fond	4.60	500.30	100.00	00.00

Tableau (III-33) : Analyse granulométrique de PEHD après traitement.

### **III-5- Détermination de la composition du béton :**

#### **III-5-1- Quelques méthodes de composition de béton :**

Les graduations granulométrique ont été laissées en diamètres passoire (et non en mailles tennis) selon l'usage à l'époque.

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents granulats dont on dispose, ainsi que le dosage en ciment et en eau, afin de réaliser un béton dont Les qualités soient celle recherchées pour la construction de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage en cause.

Les méthodes proposer est nombreuses et il n'est pas possible de les citer toutes ; elles aboutissent à des dosages «volumiques» ou de préférence «pondéreuses», le passage de l'un à

L'autre pouvant toujours se faire,

Si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des Granulats en vrai :

- ✓ méthode de Bolomey.
- ✓ méthode d'Abrams.
- ✓ méthode de Faury.
- ✓ méthode de Valette.
- ✓ méthode de Joisel.

Méthode de **DREUX-GORISSE**.

Dans notre travail nous utiliserons la méthode pratique de **DREUX-GORISSE**.

#### **III -5-2 Formulation de béton (DREUX-GORISSE.):**

##### **a- Données de base :**

-consistance désirée :  $A_f = 7\text{cm}$ .

-résistance souhaitée :  $F_{c28} = 28\text{ MPa}$ .

-la résistance caractéristique spécifique est  $F_{c28} = 28\text{ Mpa}$ . On s'attend à une certaine dispersion, on visera donc une résistance:

$$F_c = 28 + 15\% = 32.2\text{ MPa}.$$

-le coefficient granulaire :  $G = 0.45$ . (voir tableau (II-2))

-le ciment employé est un ciment de classe :  $F_{CE} = 42.5\text{ MPa}$  , mais il a une résistance vraie moyenne à 28 jours  $F_{CE} = 48\text{ MPa}$

##### **b- Dosage en ciment:**

On doit avoir:

$$F_C = G \cdot F_{CE} (C/E - 0.5).$$

D'où:

$$C/E = 2.00$$

L'abaque donne pour  $A = 7\text{cm}$  et  $C/E = 2.00 \rightarrow C = 400\text{ kg/m}^3$  (voir la figure (II-5)).

**c- Dosage en eau:**

Le dosage en eau totale sur matériaux secs sera:

$$E=400/2 =200 \text{ kg/m}^3.7$$

**d- Dosage des granulats:**

Traçons la courbe granulaire de référence **OAB**.

**D<sub>max</sub> =16mm** le point de brisure **A** de la courbe granulaire de référence est à l'abscisse :

$$X= D/2= 8$$

Son ordonnée est :

$$Y =50 - \sqrt{D} +K.$$

**D=16mm, K=0** (tableau (II.3)).

D'où:

$$Y =46\%.$$

Supposons que pour réaliser ce béton, nous disposions des trois granulats S, G1 et G2 dont les courbes granulométriques ont été représentées sur la figure (IV-3) un sable 0/5 et deux gravier 3/8 et 8/16; traçons les lignes de partage.

Joignant les points à 95% et 5%, des courbes successives .Les pourcentages en volume absolu sont pour chacun des granulats :

Sable S 0/5 .....	34 %
Gravier G1 3/8.....	12 %
Gravier G2 8/16.....	54%

Si l'on admet un coefficient de compacité  $\gamma = 0.820$  (a partir le tableau (II-4)).

Le dosage en ciment ayant été fixé à 400kg/m<sup>3</sup> (poids spécifique  $\rho_c =3.1$ ) le volume absolu des trois granulats pour un mètre cube de béton en œuvre sera:

Volume absolu des composants solides .....	1000 $\gamma =820$ L
À déduire volume absolu du ciment .....	400/3.1 =129 L
Volume absolu des granulats .....	820-129 = 691L

**\* Tenure d'eau :**

$$W_s= 0.5\%$$
$$W_G= 0.30\%$$

**\* L'absorption d'eau :**

$$Ab_s= 2.3\%$$
$$Ab_G= 1.57 \%$$

Si l'on admet que les masses spécifiques des granulats sont:

- 2.5 pour le sable 0/5.
- 2.5 pour le gravier 3/8.
- 2.5 pour le gravier 8/16.

Les masses de chacun composante dans un mètre cube seront :

Sable 0/5 ..... = 587.350kg.

Gravier 3/8 ..... =207.30kg.

Gravier 8/16..... =932.85kg.

Ciment ..... = 400kg.

Eau (Et) = E+Ab-W ..... = 225.06kg.

---

Densité théorique  $\Delta_0$  ..... = 2.349

### III-5-3 Dosage des composants du béton études

**a- avant traitement :**

Composants (kg) /m <sup>3</sup>	cim ent	Eau	granulats				Sable 0/5	La densité théoriq ue (Kg / m <sup>3</sup> )
			Gravier 3/8	Gravier 8/16	PVC	PEHD		
1 <sup>ère</sup> Composition Béton ordinaire	400	225.0	207.30	932.85	-	-	587.35	2349.00
2 <sup>ème</sup> composition 30% de PVC	400	225.0	36.275	761.85	223.0	-	587.35	2233.47
3 <sup>ème</sup> composition 50% de PVC	400	225.0	00	570.075	371.68	-	587.35	2154.16
4 <sup>ème</sup> composition 100% de PVC	400	225.0	00	00	743.30	-	587.35	1955.71
5 <sup>ème</sup> composition 30% de PEHD	400	225.0	36.275	761.85	-	111.63	587.35	2122.16
6 <sup>ème</sup> composition 50% de PEHD	400	225.0	00	570.075	-	186.07	587.35	1968.55
7 <sup>ème</sup> composition 100% de PEHD	400	225.0	00	00	-	372.14	587.35	1584.55

**Tableau (III-34) : Dosage des composants du béton avant traitement.**



**b- après traitement :**

Composants (kg) /m <sup>3</sup>	ciment	Eau	granulats				Sable 0/5	La densité théorique (Kg / m <sup>3</sup> )
			Gravier 3/8	Gravier 8/16	PVC	PEHD		
1 <sup>ère</sup> Composition Béton ordinaire	400	225.0	207.30	932.85	-	-	587.35	2349.00
2 <sup>ème</sup> composition 30% de PVC	400	225.0	36.275	761.85	215.74	-	587.35	2226.21
3 <sup>ème</sup> composition 50% de PVC	400	225.0	00	570.075	359.60	-	587.35	2142.02
4 <sup>ème</sup> composition 100% de PVC	400	225.0	00	00	719.20	-	587.35	1931.55
5 <sup>ème</sup> composition 30% de PEHD	400	225.0	36.275	761.85	-	133.95	587.35	2144.42
6 <sup>ème</sup> composition 50% de PEHD	400	225.0	00	570.075	-	223.28	587.35	2015.75
7 <sup>ème</sup> composition 100% de PEHD	400	225.0	00	00	-	446.56	587.35	1658.91

**Tableau (III-35) : Dosage des composants du béton après traitement.**

### III-6- Préparation du mélange

Le malaxage des matériaux se fait à l'aide d'un malaxeur à axe verticale.

La cuve est fixée, la méthode de préparation se résume comme suit:

- introduction des granulats et du ciment et malaxage à sec pendant 60 secondes.
- introduction de l'eau et malaxage durant 40 secondes.



**Figure (III-2): Malaxeur.**

### **III-7- Les différents Essais sur le béton:**

#### **III-7-1- Les Essais sur le béton frais:**

##### **a- Essai d'affaissement : (cône d'ABRAMS)**

L'essai a pour but de déterminer la plasticité du béton.

\* **Mode opératoire :** le cône d'ABRAMS est fixé sur une plaque d'appuis, le béton est introduit dans le cône en trois couches d'égales hauteur qui seront mises en place, au moyen de la tige de piquage actionnée 25 fois par couche. Après avoir arasé, en roulant la tige sur le bord supérieur du cône, on mesure l'affaissement.



**Figure (III-3): Cône d'ABRAMS.**

##### **b-Teneur en air : (NF EN 12350-7)**

La mesure de l'air occlus a été faite à l'aide d'un aéromètre à béton de huit litres. Model « ELE AIR ENTRAINEMENT METER » (ASTM C 231-04). Après avoir rempli la chambre inférieure de l'aéromètre de la même façon que celle pour remplir les modules. La chambre supérieure étant soigneusement fixée. On applique une pression à l'aide de la pompe manuelle intégrée jusqu'à ce que l'aiguille de l'appareil indique 0%. A ce moment, on ouvre la valve qui sépare les volumes des deux chambres, le béton se comprime et le pourcentage de l'air occlus est directement indiqué par le manomètre intégré dans l'aéromètre. Les teneurs en air occlus des bétons étudiés sont portées sur les tableaux (IV-1) et (IV-2).



**Figure (III-4): Aéromètre à béton.**

### **III-7-2- Les essais sur béton durci:**

#### **a- Détermination de la résistance à la compression des bétons durcis à différents ages:**

L'essai s'effectue sur des éprouvettes cubiques de 10 cm de côté.

La presse utilisée est Digimax plus V.1.02X, l'appareil fabriqué par la société française (controls) .



**Figure (III-5) : Presse de compression.**

On rappelle que pour chaque essai, trois éprouvettes de même composante, sont soumises à l'essai d'écrasement. Ce dernier s'effectue en respectant les règles suivantes :

- L'éprouvette est centrée sur le piston de la presse, sur les faces lisses.
- La charge est appliquée d'une manière contenue et uniforme, la vitesse est de 2.5 Kg/s. Jusqu'à la rupture de l'éprouvette.
- On note la charge de rupture (P).

La résistance à la compression est donnée par la relation suivante:

$$R_{cj} = P/S$$

**$R_{cj}$**  : Résistance à la compression à j jours en MPa.

**P** : charge maximale à la rupture indiquée sur le quadrant (en KN).

**S** : Section de l'éprouvette soumise à la compression, (100 x 100).

Les essais de résistances à la compression se font à l'âge 7 et 14 et 28 jours,

**b- Essai de traction par flexion (NF P 18 407) :**

Le but de cet essai de chargement en flexion simple est d'obtenir une réalisation contrainte de formation, dont le diagramme permet d'observer l'évolution de la fissuration.

L'éprouvette de longueur  $4a$  (avec  $a=7\text{cm}$ ) est soumise à une charge  $F(\text{kN})$  appliquée à une vitesse constante ( $v=1.8 \text{ bar/s}$ ) jusqu'à la rupture, cette charge transmise directement par l'intermédiaire d'un rouleau métallique placé entre de l'éprouvette.

On place l'éprouvette sur les deux appuis soumise à une charge  $F$  appliquée à vitesse constante jusqu'à la rupture puis notée la lecture.

La résistance

$$f_{tj} = 1.8F / a^2$$

Avec:

**F** : Charge de rupture.

**a** : Coté du prisme.

Les essais de traction par flexion se font à l'âge 7 et 14 et 28 jours,



**Figure (III-6): Presse de traction.**

**c- détermination de la vitesse de propagation du son(NF EN 12 504-4):**

**Introduction :**

Connu sous le nom d'essai aux ultrasons, cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales (de compression) à travers un élément en béton.

Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance donnée.

\* **Méthode du manomètre :** Cette technique est standardisée par la norme ASTM C597-1980. L'équipement utilisé pour la mesure de la vitesse de l'ultrason est le 58-E00/B complet, appareil fabriqué par la société française (controls) , qui donne le temps et la vitesse de parcourir d'une impulsion traversant le matériau testé. A l'usage, un transducteur de transmission est placé sur un côté. Une graisse comme le « Castrol LM » est utilisée comme milieu de couplage entre les transducteurs et le béton pour assurer un contact suffisant. La longueur du trajet doit ensuite être mesurée avec précision.



**Figure (III-7) : Appareil de mesure.**

**d- la porosité (NF P 18 459) :**

Pour déterminer la porosité totale du béton, la procédure standard (ASTM C462) a été employée. Les demi-prismes issus de l'essai de flexion ont été séchés à l'étuve à 105±5 °C pendant plus de 48 h puis pesés dans l'air pour obtenir la masse sèche ( $M_d$ ). Afin de déterminer la masse saturée ( $M_s$ ), les demi-prismes ont été pesés dans l'air après avoir été immergés dans l'eau fraîche à environ 21 °C pendant plus de 48h. Enfin, dans un récipient, les demi-prismes ont été cuits 5 h dans l'eau portée à ébullition Figure (III-8) .ensuite laissés refroidir pendant 19 h à une température finale de 20-25 °C. La masse ( $M_b$ ) est alors obtenue par pesée dans l'eau.

A partir des gains de poids par saturation et les pertes de poids par séchage. La porosité totale peut être calculée par l'équation

$$\text{Porosité totale} = \frac{M_{\text{air}} - M_{\text{sec}}}{M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}} \cdot 100$$

Où :

$M_{\text{air}}$  : Poids de l'échantillon saturé dans l'air.

$M_{\text{sec}}$  : Poids de l'échantillon sec dans l'air.

$M_{\text{eau}}$  : Poids de l'échantillon saturé bouillant dans l'eau.



Figure (III-8) : cuisson des éprouvettes dans l'eau.



Figure (III-9) : balance de la mesure du masse volumique par déplacement d'eau.

**e- Capacité d'absorption d'eau massique « Ab » :**

L'absorption d'eau par immersion est la différence entre la masse d'un échantillon saturé dans l'eau et sa masse à l'état sec.

Essai : - Sécher un échantillon dans une étuve à 105°C soit  $M_{sec}$ . - Immerger l'échantillon dans l'eau jusqu'à saturation; soit  $M_{sat}$ .

L'absorption d'eau se calcul comme suit :

$$Ab = \frac{M_{sat} - M_{sec}}{M_{sec}} \cdot 100$$

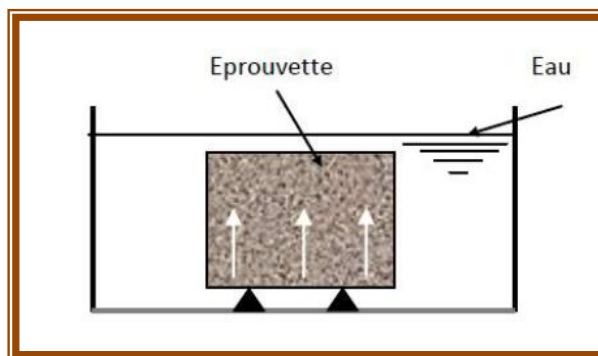


Figure (III-10) : L'absorption d'eau par immersion.



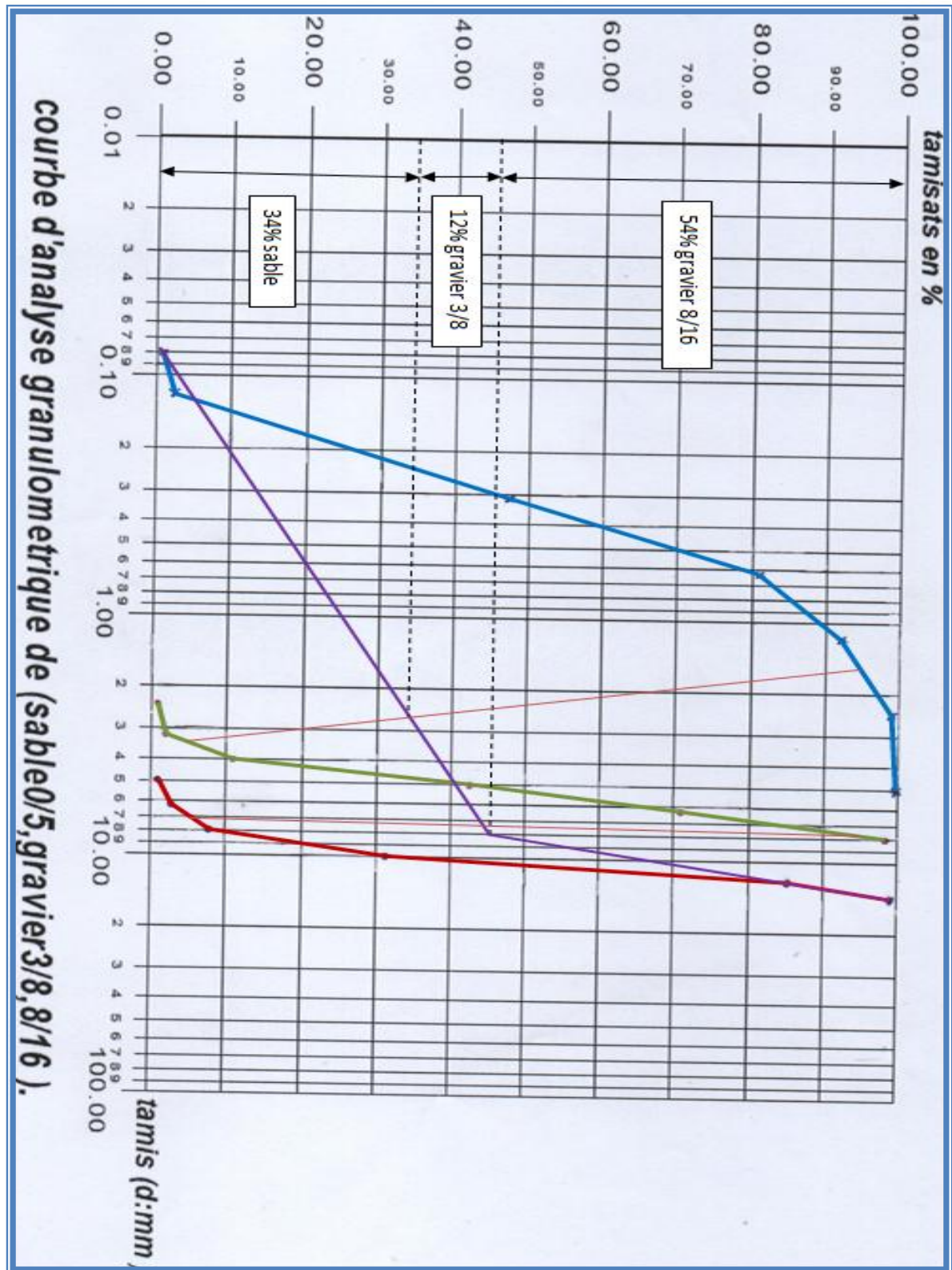


Figure (III-11) : courbe granulométrie de composition de béton.

## Chapitre IV: Résultats et discussions

### Introduction:

Dans ce chapitre nous avons présentons différentes observations et remarques su les résultats sur le béton, des interprétations scientifiques sont exprimées sur chaque résultat.

### IV-1- Les observations expérimentations sur le béton à l'état frais:

On remarquer plusieurs points remarquables, on expliquer par détaille selon les essais sur le béton :

#### IV-1-1- la morphologie de béton à l'état frais:

A partir les figure ci-dessous on remarque la descende des granulats de PVC et PEHD avec l'augmentation du temps de vibration et pourcentage de l'incorporation surtout après le traitement.



100%PVC



100%PEHD

Figure (IV-1) : la descende de granulats de PVC et PEHD après traitement.



100%PVC



100%PEHD

Figure (IV-2) : la descende de granulats de PVC et PEHD avant traitement.



**a- Avant traitement :**

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	Affaissement	Teneur en air %	La densité du béton
Ordinaire	0%	7	2.4	2.342
PVC	30%	7.4	2.6	2.165
	50%	7.6	2.7	2.084
	100%	7.9	3.0	1.828
PEHD	30%	7.5	2.5	2.200
	50%	7.6	2.5	2.030
	100%	8	2.9	1.624

**Tableau (IV-1) : résultat d'essais sur béton frais avant traitement.****b- Après traitement :**

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	Affaissement	Teneur en air %	La densité du béton
Ordinaire	0%	7	2.4	2.341
PVC	30%	7.3	2.6	2.175
	50%	7.5	2.7	2.127
	100%	8	3.0	1.822
PEHD	30%	6.2	2.8	2.152
	50%	6.1	2.8	2.002
	100%	6.8	3.2	1.562

**Tableau (IV-2) : résultat d'essais sur béton frais après traitement.**

**Remarque:** quantité d'eau les même dans tous les gâchages.

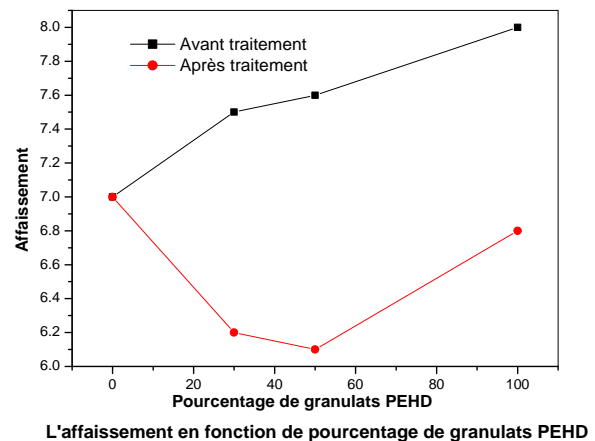
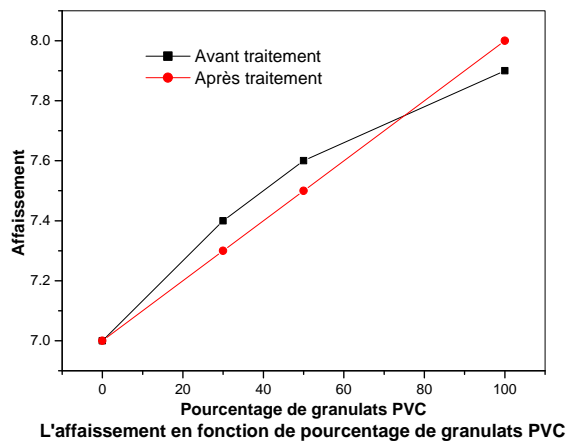


Figure (IV-3) : l'affaissement en fonction du pourcentage de granulats PVC et PEHD.

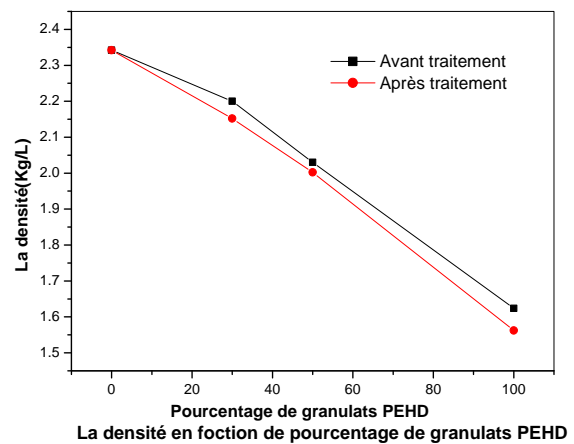
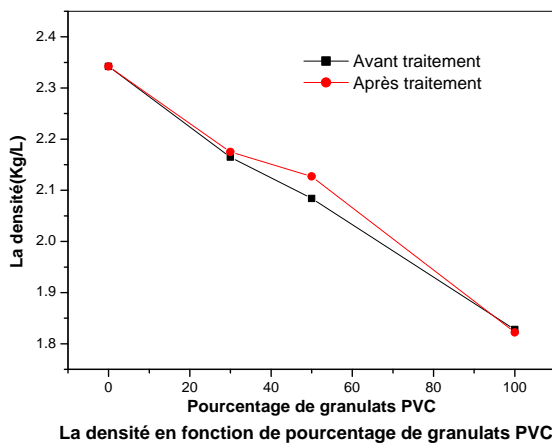


Figure (IV-4) : la densité en fonction du pourcentage de granulats PVC et PEHD.

A partir des résultats on remarque que l'augmentation des granulats de PVC et PEHD, sans traitement dans le béton augmente l'affaissement et diminue la densité. Cette chute de densité est due à la faible densité de granulats de PVC et PEHD par rapport aux granulats minéraux.

On peut remarquer également, que la chute de densité par les mélanges préparés à base de granulats de PEHD est plus élevée que ceux préparés à base de granulats de PVC dû à la faible densité des déchets PVC.



**Figure (IV-5) : Les granules de PEHD avant traitement.**



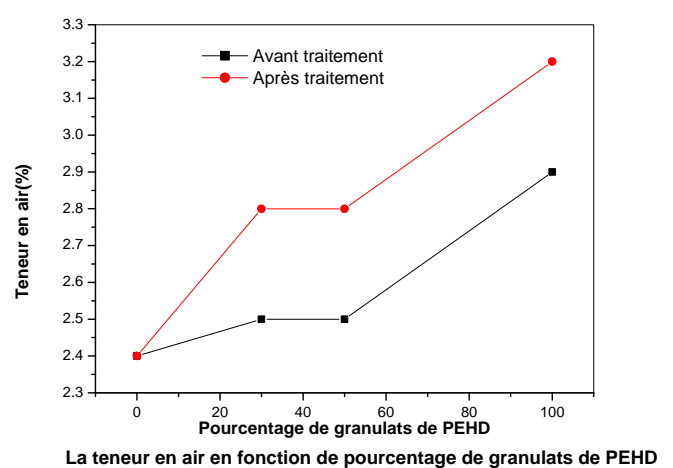
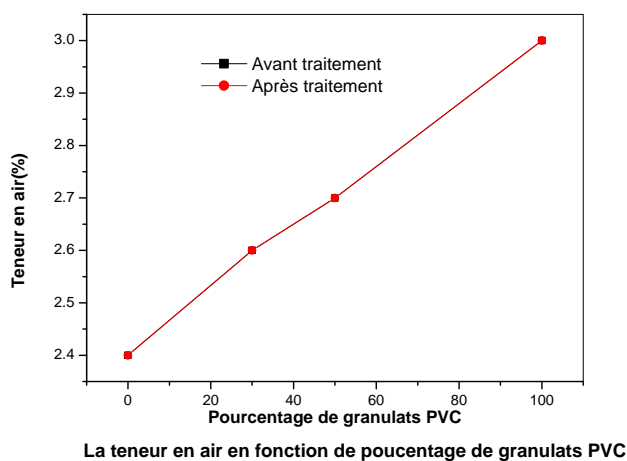
**Figure (IV-6) : Les granules de PEHD après traitement.**



**Figure (IV-7) : Les granules de PVC avant traitement.**



**Figure (IV-8) : Les granules de PVC après traitement.**



**Figure (IV-9) : La teneur en air en fonction de pourcentage de granules PVC et PEHD.**

A partir le figure (IV-9) on remarque que l'augmentation des granules de PVC et PEHD, dans le béton augmente la teneur en air, Cette augmentation est due la forme des granules PVC soit avant traitement ou après.

Le traitement des granules PVC ne pas affecter sur la teneur en air dans le béton mais traitement des granules PEHD ça affecter ceci est dû à former des pores dans le béton en raison

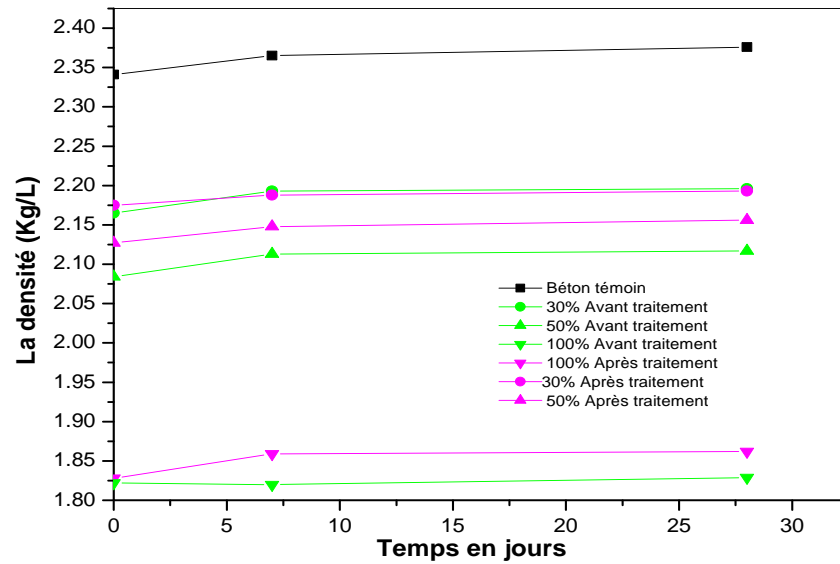
de la force de frottement résultant entre les granulés de PEHD après le traitement Comme il est représenté sur la Figure (IV-6).

**Remarque:** tout l'éprouvette présent le même comportement soit avant traitement ou après traitement.

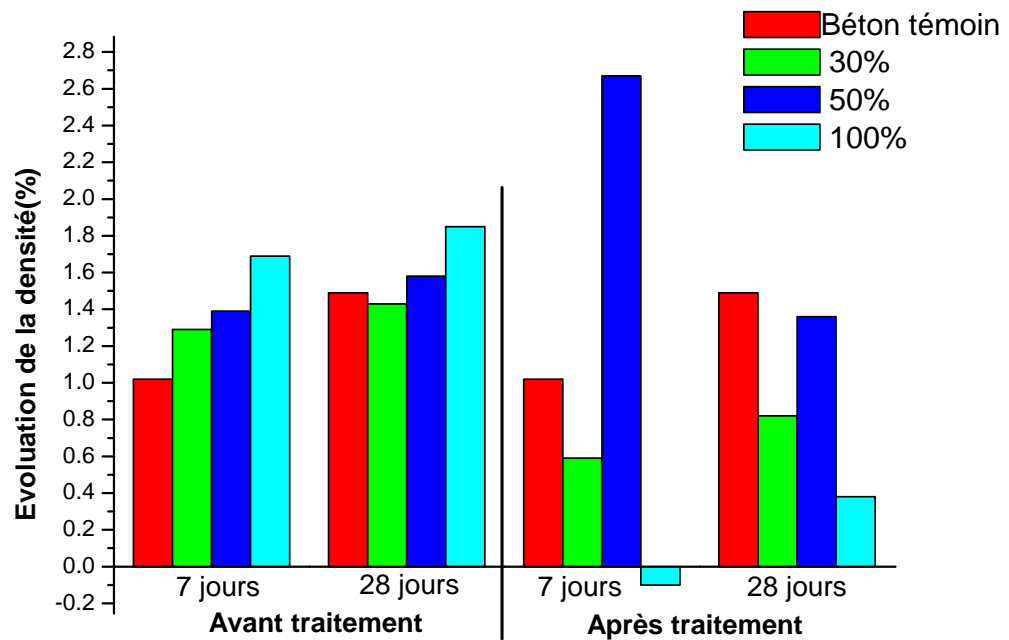
#### IV-2- la masse volumique:

Type de granulats	Age en jour	Pourcentage de l'incorporation	La masse volumique (kg/l) Moyenne trois éprouvettes	
			Avant traitement	Après traitement
PVC	0 (Etat frais)	0%	2.341	2.341
		30%	2.165	2.175
		50%	2.084	2.127
		100%	1.828	1.822
	7	0%	2.365	2.365
		30%	2.193	2.188
		50%	2.113	2.148
		100%	1.859	1.820
	28	0%	2.376	2.376
		30%	2.196	2.193
		50%	2.117	2.156
		100%	1.862	1.829
PEHD	0 (Etat frais)	0%	2.341	2.341
		30%	2.200	2.152
		50%	2.030	2.010
		100%	1.624	1.562
	7	0%	2.365	2.365
		30%	2.231	2.151
		50%	2.059	2.002
		100%	1.656	1.582
	28	0%	2.376	2.376
		30%	2.243	2.160
		50%	2.061	1.985
		100%	1.658	1.588

Tableau (IV-3) : la masse volumique de béton.



Figure( IV-10) : La variation de la densité du béton de granulats PVC en fonction de temps.



Figure( IV-11) : Evolution de la densité en fonction du pourcentage de granulats PVC avant et après traitement.

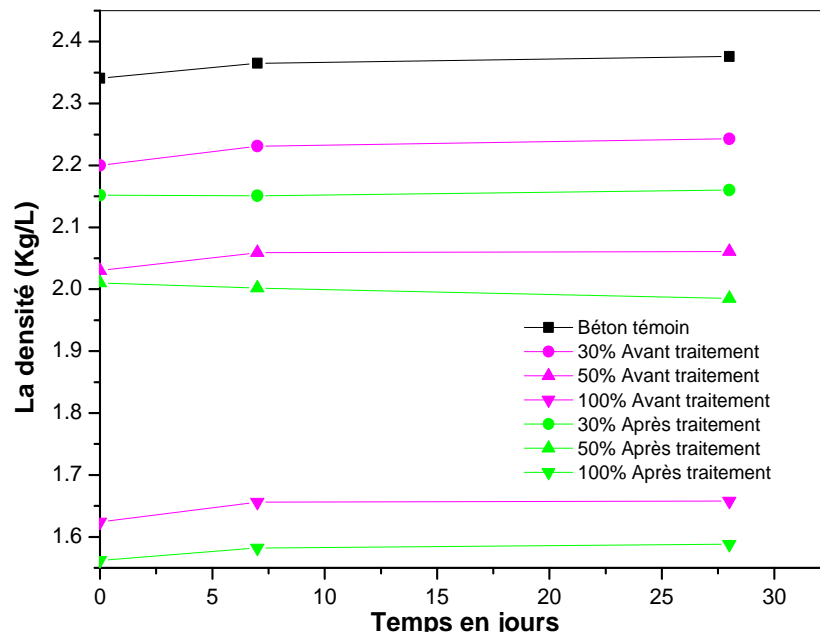


Figure (IV-12) : La variation de la densité du béton de granulats PEHD en fonction de temps.

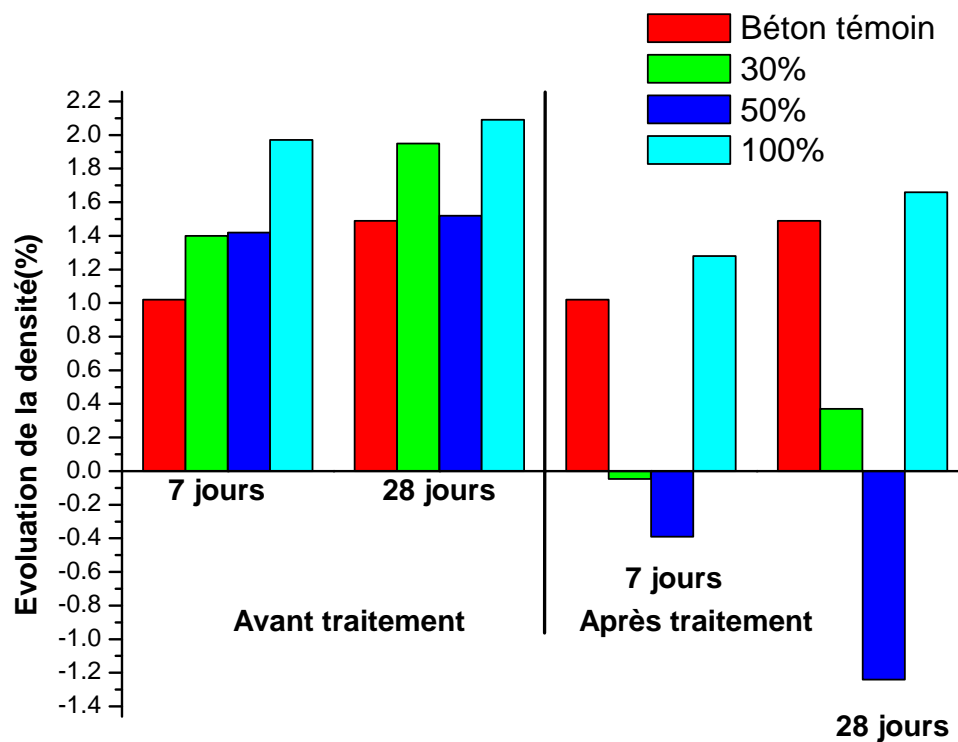


Figure (IV-13) : Evolution de la densité en fonction du pourcentage de granulats PEHD avant et après traitement.

L'augmentation de pourcentage de granulats de PVC ou PEHD avant traitement dans le béton provoque une augmentation dans la masse volumique en fonction de temps, cette augmentation est due à la présence de pores dans le béton qui aide à absorber l'eau Lors de conservation des l'éprouvettes.(la cure)

Après traitement on remarqué un perte dans la masse volumique dans la fraction 50% de granulats de PEHD et la fraction 100% de granulats de PVC , ce perte est due à l'absence de pores dans le béton qui aide à absorber l'eau Lors de conservation des l'éprouvettes.

D'après la figure ( IV-10) et ( IV-12) on remarque que la variation de poids s'effectue en deux temps :

- 1<sup>er</sup> période: De 0 jours a 7 jours (hydratation initiale).
- 2<sup>eme</sup> période: de 7 jours a 28 jours (hydratation complet) .

On remarque dans le 1<sup>er</sup> période la vitesse de la variation est grand par rapport le deuxième période, ce ci peut être expliqué par le fait que la réaction d'hydratation est une complète dans première semaine après le coulage.

### IV-3- La résistance de compression:

#### IV-3-1- béton à granulats PVC :

##### a- Avant traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Résistance en Mpa					
			7jours	moy	14jours	moy	28 jours	moy
PVC	0%	1	27.00	26.30	28.69	28.28	30.41	30.53
		2	25.70		27.16		31.43	
		3	26.20		29.00		29.76	
	30%	1	20.10	20.08	23.45	23.50	24.58	24.94
		2	20.25		22.95		25.45	
		3	19.90		24.10		24.80	
	50%	1	16.50	16.68	22.10	22.85	25.84	24.92
		2	16.90		23.50		24.43	
		3	16.66		22.95		24.50	
	100%	1	12.30	11.70	14.30	14.78	20.21	20.19
		2	11.70		15.10		20.18	
		3	11.10		14.96		20.20	

Tableau (IV-4) : Résistance de compression du béton en granulats PVC avant traitement.

## b-Après traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Résistance en Mpa					
			7jours	moy	14jours	moy	28 jours	moy
PVC	0%	1	27.00	26.30	28.69	28.28	30.41	30.53
		2	25.70		27.16		31.43	
		3	26.20		29.00		29.76	
	30%	1	17.96	17.44	21.96	21.10	21.42	22.02
		2	16.68		20.15		21.72	
		3	17.70		21.20		22.94	
	50%	1	16.65	16.91	21.53	19.80	21.46	22.42
		2	17.42		18.43		22.95	
		3	16.68		19.45		22.87	
	100%	1	9.80	9.70	13.44	11.95	14.49	15.36
		2	8.20		10.17		15.84	
		3	11.11		12.50		15.75	

Tableau (IV-5) : Résistance de compression du béton en granulats PVC après traitement.

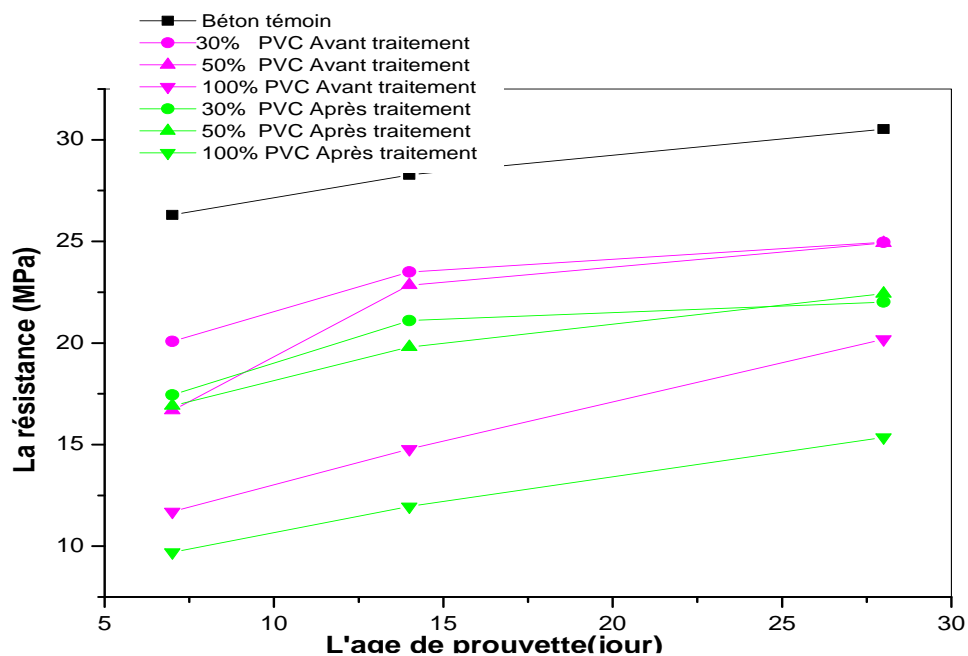


Figure (IV-14) : La résistance de la compression en fonction du temps.



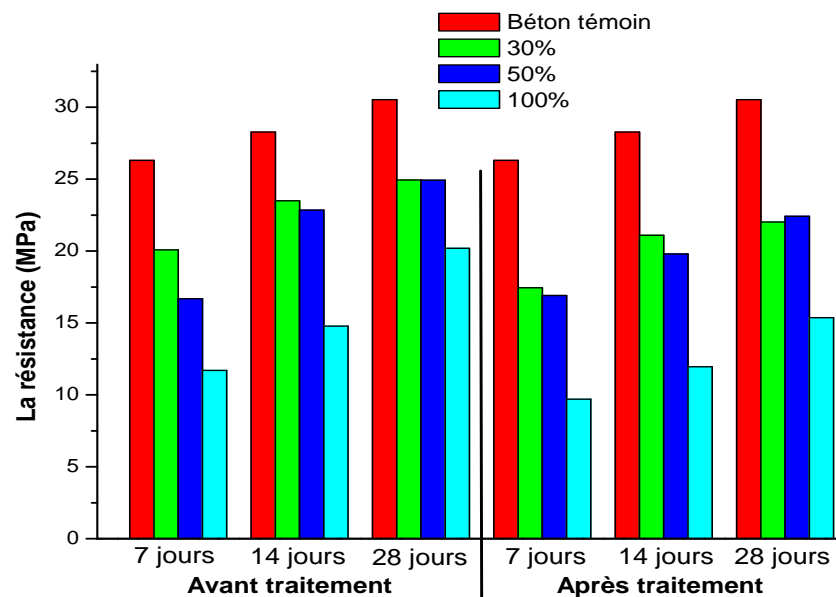


Figure (IV-15) : La variation de la résistance de compression en fonction du pourcentage de granulats PVC avant et après traitement.

#### IV-3-2-béton à granulats PEHD :

##### a-Avant traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Résistance en Mpa					
			7jours	moy	14jours	moy	28 jours	moy
PEHD	0%	1	27.00	26.30	28.69	28.28	30.41	30.53
		2	25.70		27.16		31.43	
		3	26.20		29.00		29.76	
	30%	1	17.55	17.20	21.20	22.21	22.63	24.29
		2	16.60		23.10		25.81	
		3	17.45		22.35		24.45	
	50%	1	10.25	10.33	13.30	13.27	17.04	18.95
		2	10.40		12.33		20.53	
		3	10.35		14.20		19.30	
	100%	1	6.08	6.52	7.80	7.96	12.39	12.50
		2	6.30		8.20		12.61	
		3	7.20		7.90		12.50	

Tableau (IV-6) : Résistance de compression du béton en granulats PEHD avant traitement.

## b-Après traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Résistance en Mpa					
			7jours	moy	14jours	moy	28 jours	moy
PEHD	0%	1	27.00	26.30	28.69	28.28	30.41	30.53
		2	25.70		27.16		31.43	
		3	26.20		29.00		29.76	
	30%	1	14.59	14.39	17.59	16.75	18.54	18.56
		2	14.28		15.86		18.59	
		3	14.30		16.80		18.56	
	50%	1	6.94	7.19	9.40	9.33	9.81	10.10
		2	6.30		9.25		10.38	
		3	8.33		9.35		10.12	
	100%	1	4.37	4.31	4.53	4.86	5.02	4.94
		2	4.26		5.10		4.85	
		3	4.30		4.95		4.95	

Tableau (IV-7) : Résistance de compression du béton en granulats PEHD après traitement.

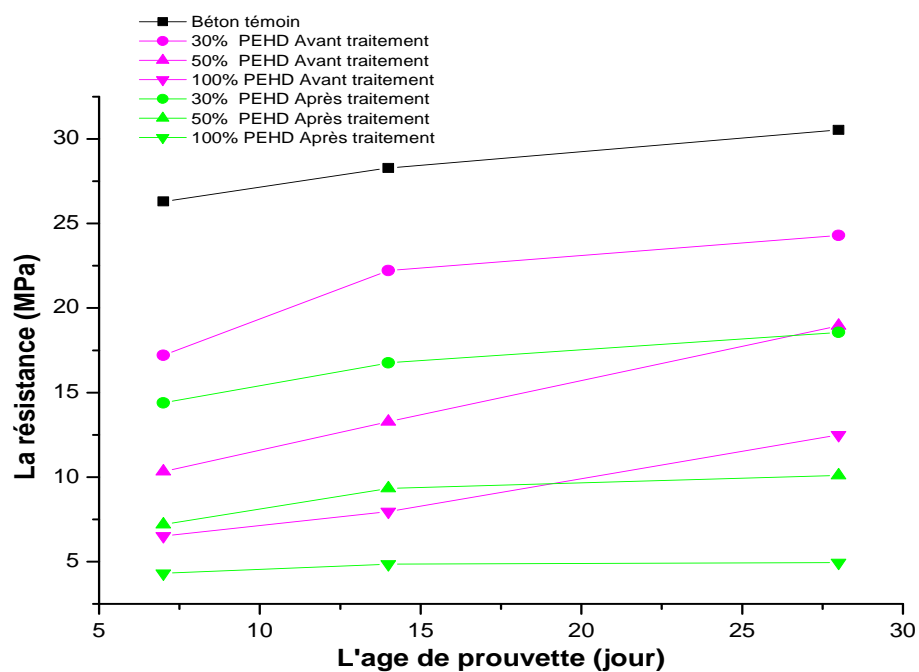


Figure (IV-16) : La variation de la résistance de compression en fonction de temps.

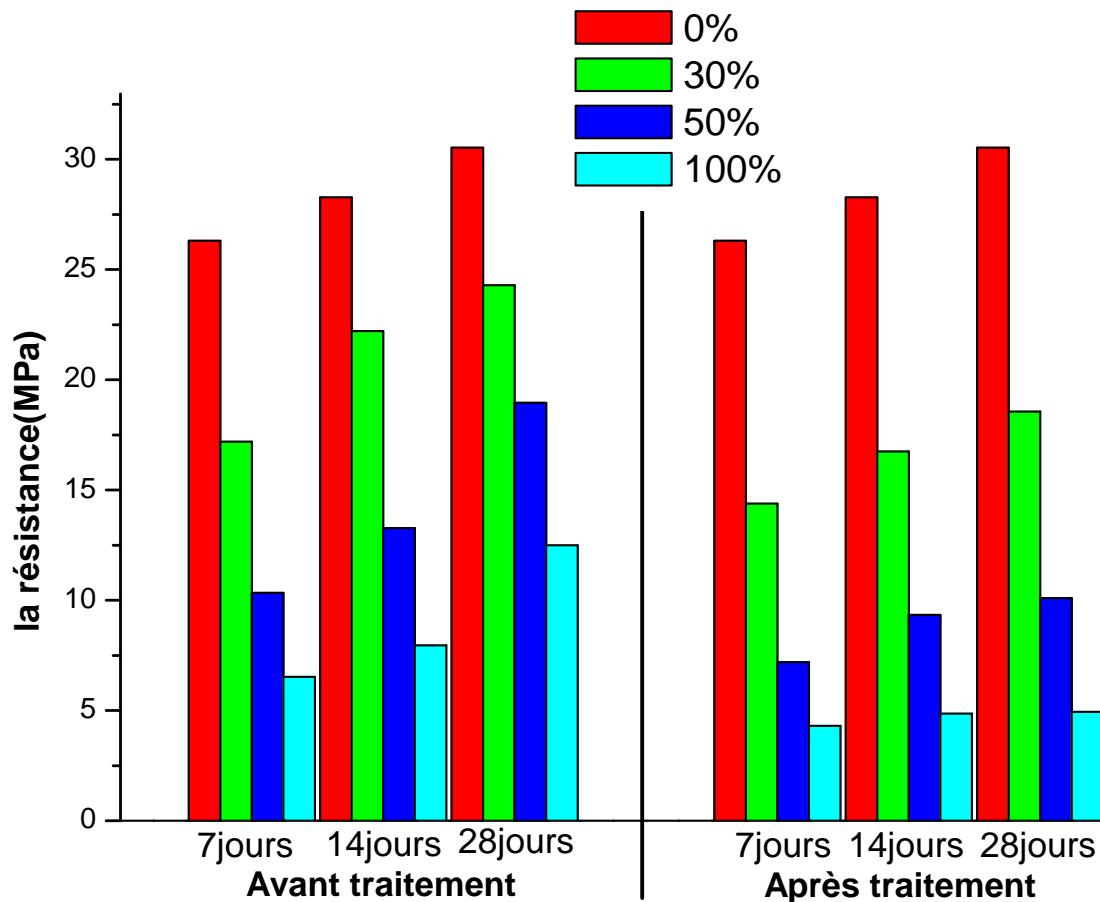


Figure (IV-17) : Evolution de la résistance de compression en fonction du pourcentage de granulats PEHD avant et après traitement.

A partir des résultats on remarque que la résistance de compression en générale diminue à cause de l'augmentation de pourcentage de PVC et PEHD dans le béton, est due à mauvaise adhérence entre les granules et la pâte de ciment, en plus de la faiblesse de la résistance de compression aux granules de PVC et PEHD par rapport aux granules minéraux.

Les figures (IV-15) et (IV-17) montrent que le traitement augmente le manque de résistance à la compression, est due à l'augmentation du lissage de la surface des granules de PVC et PEHD après traitement (l'enrobage par la résine).

## IV-4-La résistance de traction:

## IV-4-1-béton à granulats PVC :

## a-Avant traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Résistance en Mpa					
			7jours	moy	14jours	moy	28 jours	moy
PVC	0%	1	1.836	1.835	2.020	2.044	2.204	2.191
		2	1.910		2.057		2.167	
		3	1.760		2.057		2.204	
	30%	1	1.102	1.127	1.175	1.158	1.248	1.282
		2	1.100		1.124		1.248	
		3	1.180		1.175		1.350	
	50%	1	2.558	2.497	2.644	2.612	2.620	2.638
		2	2.510		2.570		2.650	
		3	2.424		2.623		2.644	
	100%	1	0.955	0.783	1.100	1.125	1.175	1.175
		2	0.734		1.175		1.248	
		3	0.661		1.100		1.102	

Tableau (IV-8) : Résistance de traction du béton en granulats PVC avant traitement.

## b-Après traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Résistance en Mpa					
			7jours	moy	14jours	moy	28 jours	Moy
PVC	0%	1	1.836	1.835	2.020	2.044	2.204	2.191
		2	1.910		2.057		2.167	
		3	1.760		2.057		2.204	
	30%	1	0.918	1.08	1.10	1.12	1.175	1.199
		2	1.100		1.02		1.248	
		3	1.175		1.24		1.175	
	50%	1	2.424	2.546	2.558	2.563	2.600	2.590
		2	2.570		2.623		2.620	
		3	2.644		2.510		2.550	
	100%	1	0.440	0.611	1.100	1.027	1.175	1.150
		2	0.734		0.955		1.175	
		3	0.661		1.028		1.102	

Tableau (IV-9) : Résistance de traction du béton en granulats PVC après traitement.

## IV-4-2-béton à granulats PEHD :

## a-Avant traitement :

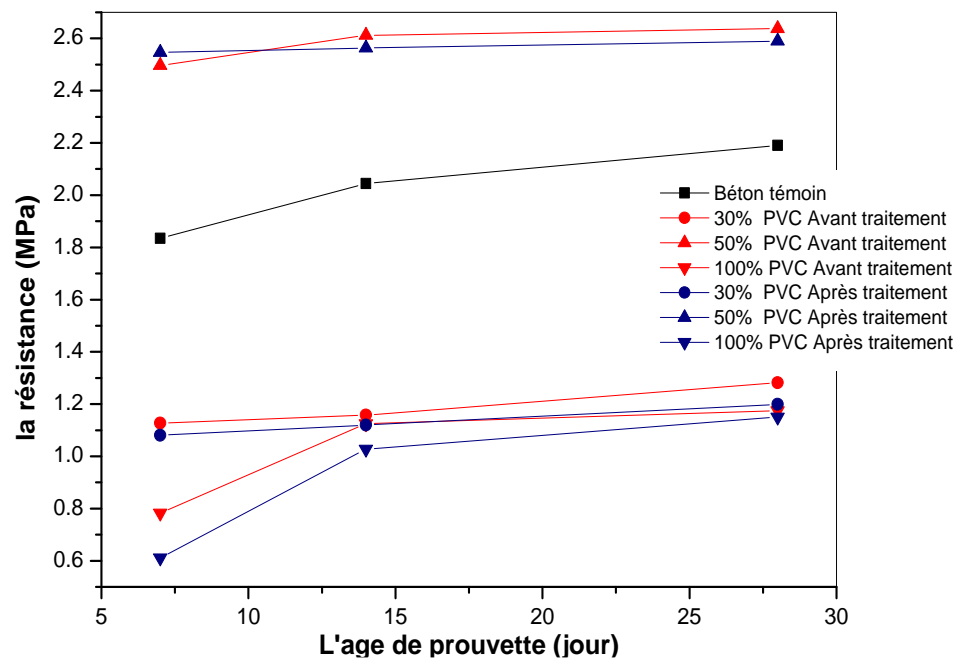
Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Résistance en Mpa					
			jours7	moy	14jours	moy	28 jours	moy
PEHD	0%	1	1.836	1.835	2.020	2.044	2.204	2.191
		2	1.910		2.057		2.167	
		3	1.760		2.057		2.204	
	30%	1	1.028	1.026	1.102	1.126	1.248	1.175
		2	1.102		1.102		1.175	
		3	0.955		1.175		1.102	
	50%	1	0.955	0.930	1.102	1.126	1.028	1.101
		2	0.955		0.955		1.175	
		3	0.881		1.102		1.102	
	100%	1	0.734	0.783	0.881	0.856	1.102	1.028
		2	0.808		0.881		0.881	
		3	0.808		0.808		1.102	

Tableau (IV-10) : Résistance de traction du béton en granulats PEHD avant traitement.

## b-Après traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Résistance en Mpa					
			7jours	moy	14jours	moy	28 jours	Moy
PEHD	0%	1	1.836	1.835	2.020	2.044	2.204	2.191
		2	1.910		2.057		2.167	
		3	1.760		2.057		2.204	
	30%	1	0.881	1.003	1.028	1.052	1.102	1.175
		2	1.028		1.028		1.175	
		3	1.102		1.102		1.248	
	50%	1	0.808	0.881	0.881	0.930	1.028	1.028
		2	0.955		0.955		0.955	
		3	0.881		0.955		1.102	
	100%	1	0.734	0.734	0.808	0.807	1.102	0.954
		2	0.661		0.734		0.881	
		3	0.808		0.881		0.881	

Tableau (IV-11): Résistance de traction du béton en granulats PEHD après traitement.



Figure(IV-18) : La variation de la résistance de traction du béton de granulats PVC en fonction de temps.

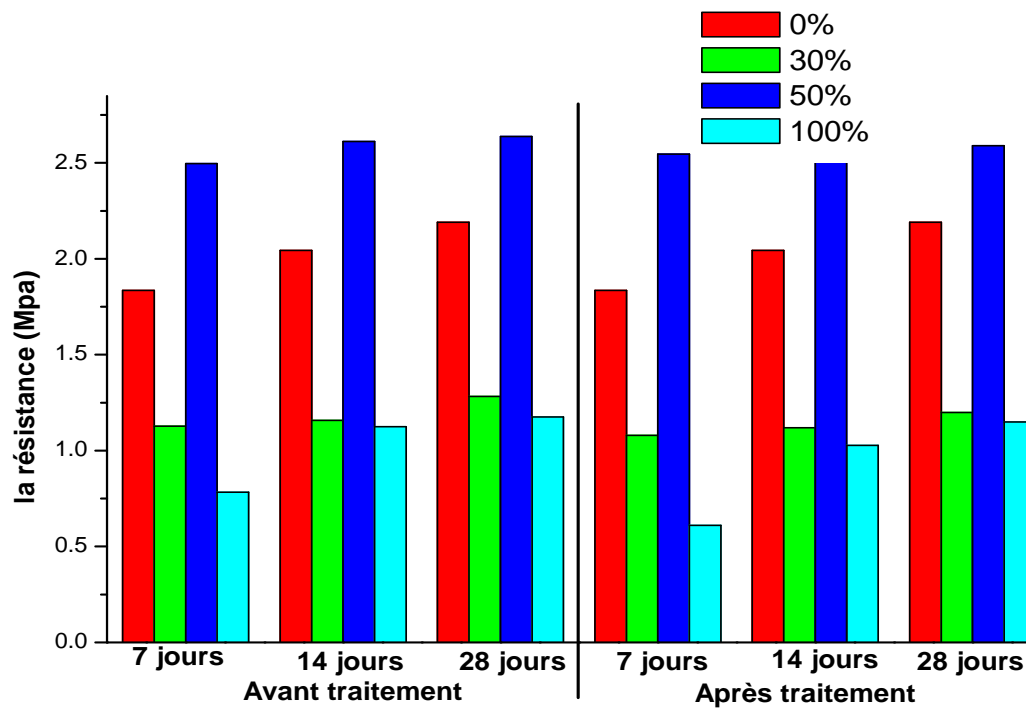


Figure (IV-19) : Evolution de la résistance de traction en fonction du pourcentage de granulats PVC avant et après traitement.

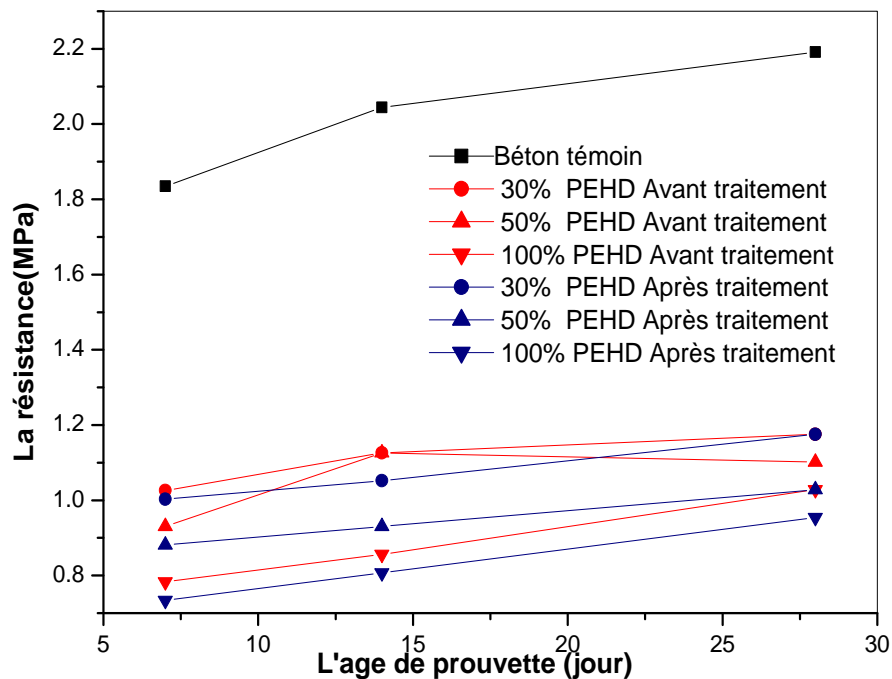


Figure (IV-20) : La variation de la résistance de traction du béton de granulats PEHD en fonction de temps.

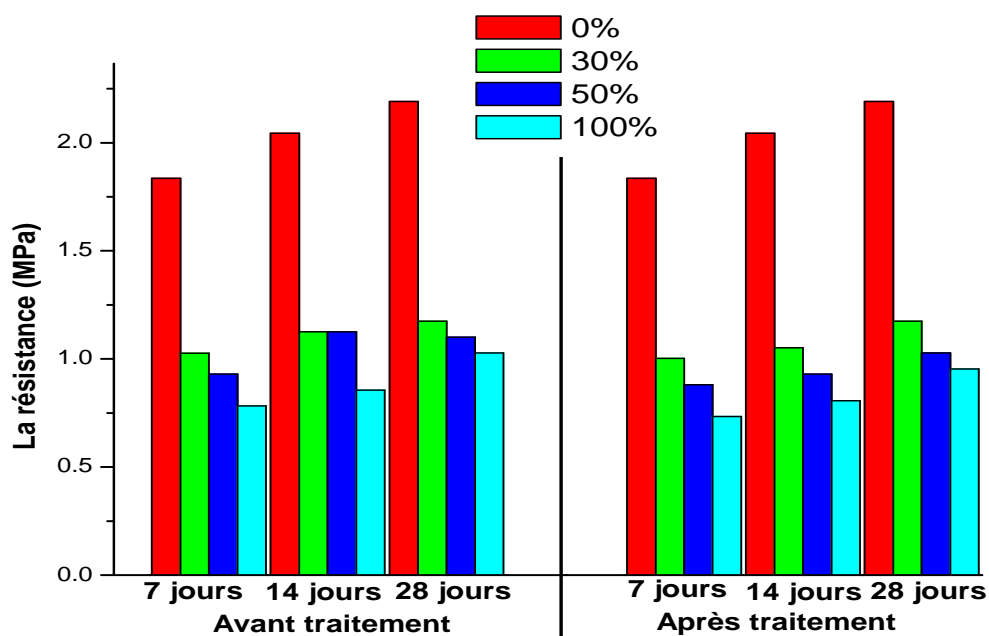


Figure (IV-21) : Evolution de la résistance de traction en fonction du pourcentage de granulats PEHD.

A partir des résultats de la résistance à la traction on remarque que la résistance de traction en générale diminue à cause de l'augmentation du pourcentage de PVC et PEHD dans le béton.

sauf la fraction 50% pourcent de PVC, on peut considérer un cas exceptionnelle et prend que une valeur maximum pour les résistances de traction (50%+50%).

A partir les figure (IV-18) et (IV-20) on constate que la résistance de traction du béton témoin augmente rapidement avec l'âge et atteint une valeur supérieure à 2 MPa, ceci peut être expliqué par le fait que la réaction d'hydratation a en tout son temps pour se compléter.

**Remarque :** La résistance de traction sur le béton léger est négligeable.  
Le béton léger résistent au force de compression.

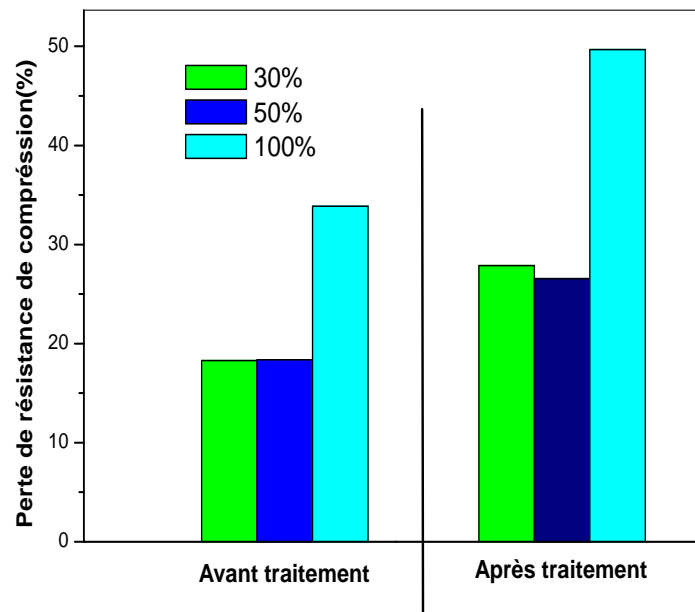


Figure (IV-22) : La perte de résistance de compression en fonction de dosage de granulats PVC.

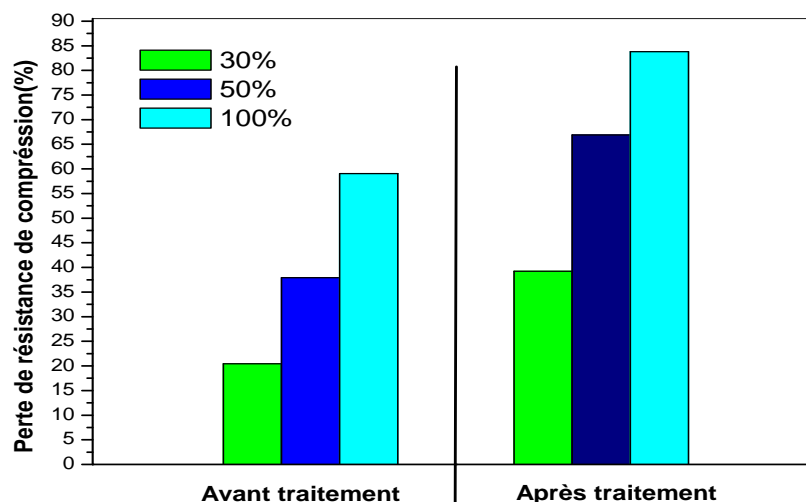


Figure (IV-23) : La perte de la résistance de compression en fonction de dosage de granulats PEHD.



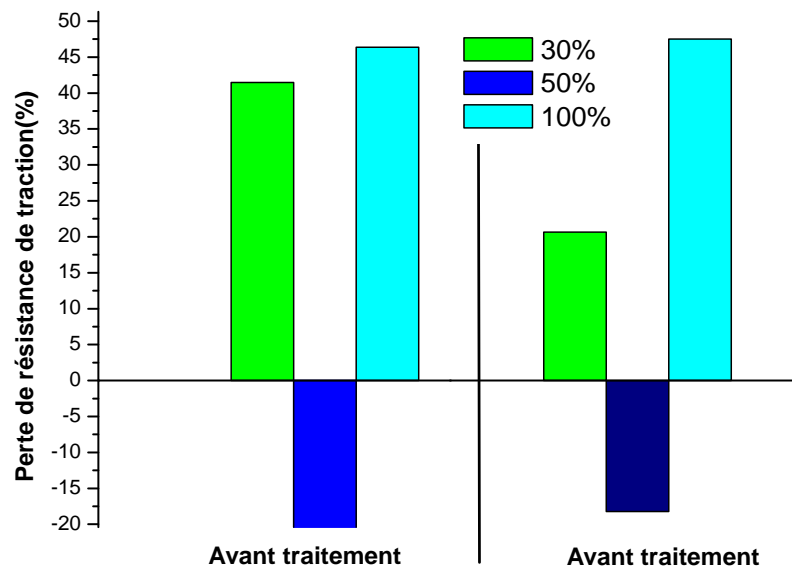


Figure (IV-24) : La perte de la résistance de traction en fonction de dosage de granulats PVC.

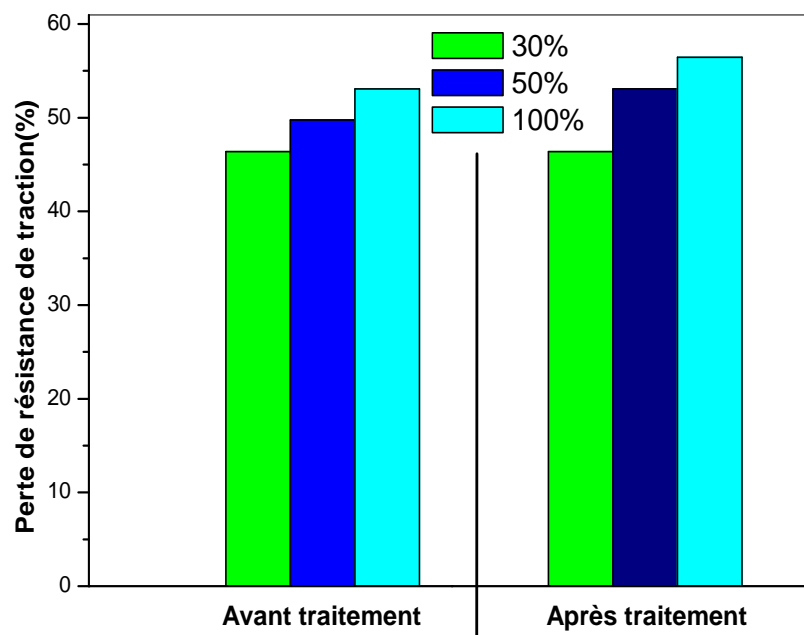


Figure (IV-25) : La perte de résistance de traction en fonction de dosage de granulats PEHD.

Les dernières figures montrent que l'incorporation de granulats PVC et PEHD est préjudiciable à la résistance, surtout après traitement, où remarque une chute dans la résistance de compression, arrive à 83 % dans le béton en 100% granulats PEHD après traitement, et 49 % dans le béton en 100% granulats PVC après traitement.

La même remarque sur la résistance de traction, où la chute arrive à 56% dans le béton en 100% granulats PEHD après traitement, et 47% dans le béton en 100% granulats PVC après traitement.

#### IV-5-Isolation acoustique :

##### IV-5-1-béton à granulats PVC :

##### a-Avant traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Vitesse de propagation du son (m/s)	
PVC	0%	1	4298	4298.33
		2	4252	
		3	4345	
	30%	1	3863	3877.33
		2	3889	
		3	3880	
	50%	1	3697	3693.66
		2	3608	
		3	3610	
	100%	1	2981	2960.66
		2	2951	
		3	2950	

Tableau (IV-12) : Vitesse de propagation du son dans béton en granulats PVC avant traitement.

## b- Après traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Vitesse de propagation du son (m/s)	
PVC	0%	1	4298	4298.33
		2	4252	
		3	4345	
	30%	1	3919	3882.00
		2	3676	
		3	4051	
	50%	1	3529	3595.33
		2	3738	
		3	3519	
	100%	1	2677	2616.00
		2	2591	
		3	2580	

Tableau (IV-13) : Vitesse de propagation du son dans béton en granulats PVC après traitement.

## V-5-2- béton à granulats PEHD :

## a-Avant traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Vitesse de propagation du son (m/s)	
PEHD	0%	1	4298	4298.33
		2	4252	
		3	4345	
	30%	1	3827	3840.00
		2	3863	
		3	3830	
	50%	1	3544	3525.66
		2	3513	
		3	3520	
	100%	1	2774	2753.33
		2	2736	
		3	2750	

Tableau (IV-14) : Vitesse de propagation du son dans béton en granulats PEHD avant traitement.

## b-Après traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	Vitesse de son (m/s)	
PEHD	0%	1	4298	4298.33
		2	4252	
		3	4345	
	30%	1	3783	3779.00
		2	3786	
		3	3768	
	50%	1	3656	3713.66
		2	3736	
		3	3749	
	100%	1	2474	2498.66
		2	2474	
		3	2548	

Tableau (IV-15) : Vitesse de propagation du son dans béton en granulats PEHD après traitement.

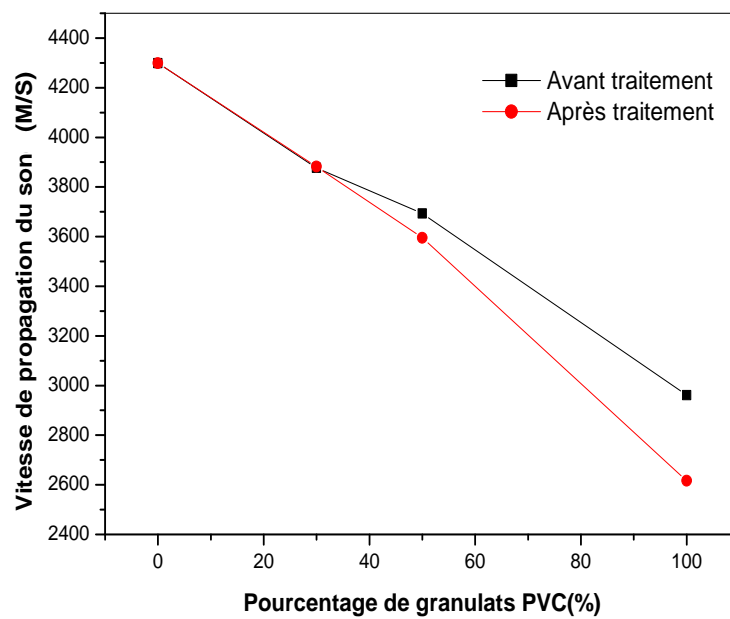


Figure (IV-26) : La variation de propagation du son en fonction du pourcentage de granulats PVC.

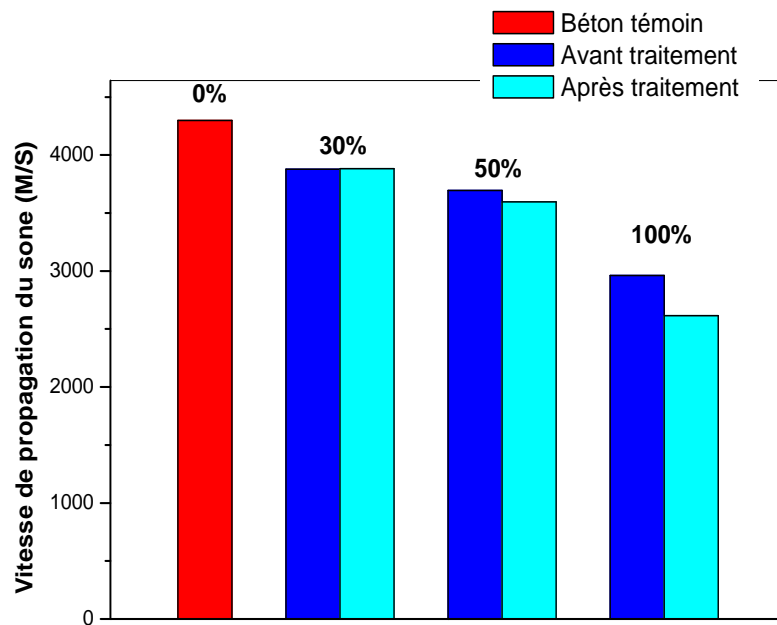


Figure (IV-27) : La vitesse de propagation du son en fonction du pourcentage de granulats PVC.

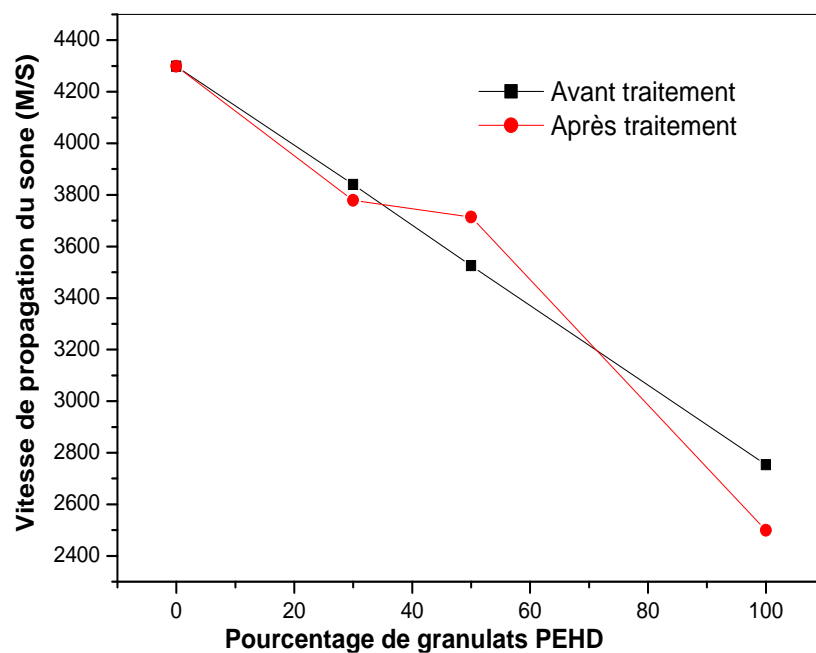
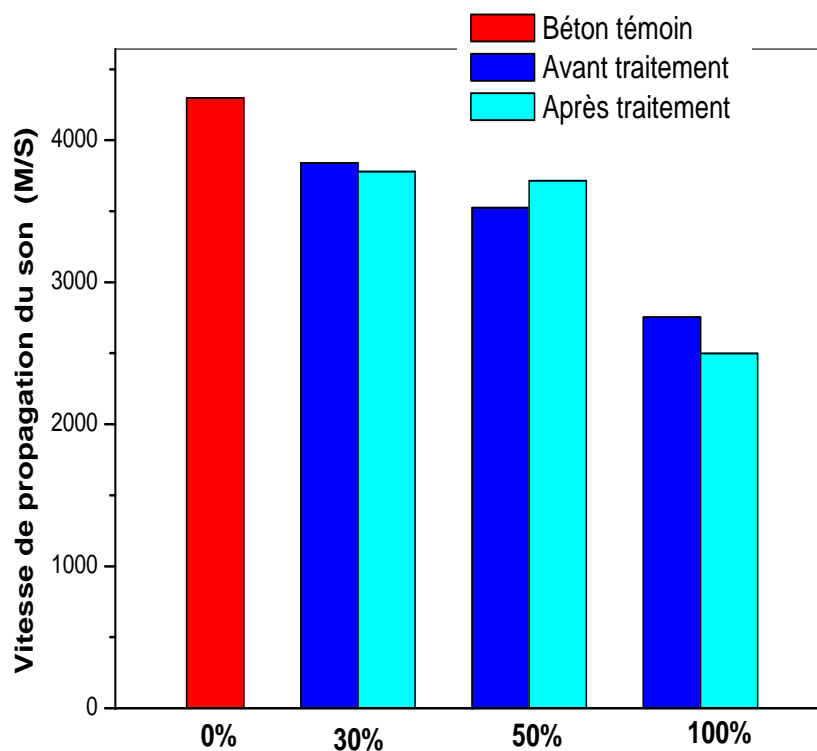


Figure (IV-28) : La vitesse de propagation du son en fonction du pourcentage de granulats PEHD.



**Figure (IV-29) : La vitesse de propagation du son en fonction du pourcentage de granulats PEHD avant et après traitement.**

A partir les figure ci-dessus, on remarque que l'augmentation de l'intégration des granulés de PVC et PEHD, dans le béton a provoqué une diminution de la vitesse de propagation du son, ceci est dû à la nature des granulés de PVC et PEHD, Ce qui est considéré comme matériaux légers, avec une bonne isolation phonique et thermique.

Notez que la diminution de la vitesse de propagation du son dans le béton en granulats PEHD est supérieure à béton en granulats PVC, ceci est dû granulat PEHD une plus légère que les granulat PVC.

La vitesse de propagation du son dans le béton en granulats PVC ou PEHD est réduite après traitement des granules de PVC et PEHD, ceci est dû à l'augmentation de l'épaisseur de granulats PVC et PEHD.

## IV-6- La porosité :

## IV-6-1- béton à granulats PVC :

Les résultats groupé dans les tableaux ceux dessus

## a-Avant traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	M <sub>air</sub>	M <sub>sec</sub>	M <sub>eau</sub>	V <sub>p</sub> (%)	V <sub>p</sub> (%) moy
PVC	0%	1	1.8660	1.7980	0.9992	7.84	7.863
		2	1.9830	1.8990	1.0012	8.55	
		3	2.2050	2.1400	1.3023	7.20	
	30%	1	2.217	2.056	1.0713	14.0525	14.076
		2	2.218	2.051	1.0715	14.5660	
		3	2.209	2.054	1.0710	13.6203	
	50%	1	2.016	1.951	0.9688	6.2070	6.2256
		2	1.019	1.954	0.9664	6.1751	
		3	2.017	1.951	0.9685	6.2947	
	100%	1	1.818	1.719	0.6915	7.7882	8.1195
		2	1.819	1.723	0.6900	8.5031	
		3	1.810	1.719	0.682	8.0673	

Tableau (IV-16) : La porosité du béton en granulats PVC avant traitement.

## b- Après traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	M <sub>air</sub>	M <sub>sec</sub>	M <sub>eau</sub>	V <sub>p</sub> (%)	V <sub>p</sub> (%) moy
PVC	0%	1	1.8660	1.7980	0.9992	7.84	7.863
		2	1.9830	1.8990	1.0012	8.55	
		3	2.2050	2.1400	1.3023	7.20	
	30%	1	1.6490	1.5390	0.7000	11.59	11.39
		2	1.4253	1.3140	0.4460	11.36	
		3	2.1053	1.9830	1.0170	11.23	
	50%	1	2.0610	1.9380	0.9802	11.38	11.32
		2	1.8012	1.6762	0.6911	11.26	
		3	1.7952	1.6712	0.7018	11.34	
	100%	1	1.3210	1.2190	0.4835	12.17	12.14
		2	1.4100	1.3060	0.5505	12.10	
		3	1.6015	1.5005	0.7703	12.15	

Tableau (IV-17) : La porosité du béton en granulats PVC après traitement.

## IV-6-2-béton à granulats PEHD :

## a-Avant traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	M <sub>air</sub>	M <sub>sec</sub>	M <sub>eau</sub>	Vp(%)	Vp(%) moy
PEHD	0%	1	1.8660	1.7980	0.9992	7.84	7.863
		2	1.9830	1.8990	1.0012	8.55	
		3	2.2050	2.1400	1.3023	7.20	
	30%	1	2.212	2.068	1.0763	12.67	12.5506
		2	2.210	2.069	1.0650	12.31	
		3	2.214	2.070	1.0764	12.65	
	50%	1	2.067	1.897	0.9069	14.65	14.5418
		2	2.067	1.897	0.9069	14.65	
		3	2.066	1.900	0.9.66	14.31	
	100%	1	1.700	1.496	0.5376	17.54	17.5216
		2	1.701	1.497	0.5378	17.53	
		3	1.699	1.496	0.5375	17.47	

Tableau (IV-18) : La porosité du béton en granulats PEHD avant traitement.

## b-Après traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	M <sub>air</sub>	M <sub>sec</sub>	M <sub>eau</sub>	Vp(%)	Vp(%) moy
PEHD	0%	1	1.8660	1.7980	0.9992	7.84	7.863
		2	1.9830	1.8990	1.0012	8.55	
		3	2.2050	2.1400	1.3023	7.20	
	30%	1	2.2050	2.0610	1.0485	12.45	12.43
		2	2.2070	2.0610	1.0277	12.38	
		3	1.7016	1.5586	0.5540	12.46	
	50%	1	1.4240	1.2910	0.5880	15.90	15.86
		2	1.5314	1.3974	0.6945	16.01	
		3	1.3024	1.1704	0.4601	15.67	
	100%	1	1.711	1.498	0.538	18.1585	18.5091
		2	1.709	1.495	0.5384	18.2812	
		3	1.721	1.495	0.537	19.0878	

Tableau (IV-19) : La porosité du béton en granulats PEHD après traitement.



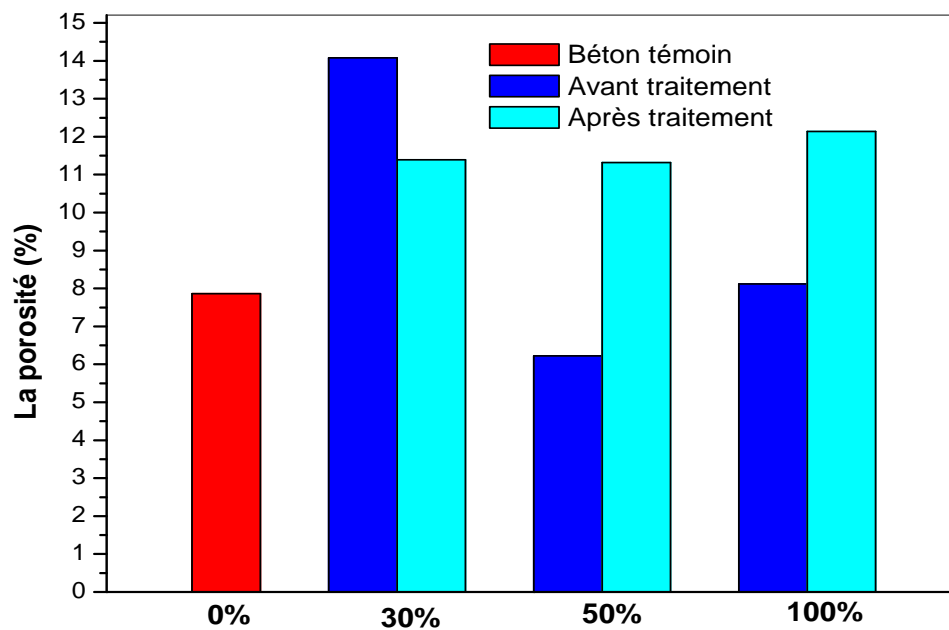


Figure (IV-30) : La porosité en fonction du pourcentage de granulats PVC avant et après traitement.

A partir la figure (IV-30) on remarque, que l'augmentation du pourcentage de granulats PVC dans le béton avant ou après traitement, provoque une augmentation dans la porosité, sauf la fraction de 50% avant traitement, Peut-être parce que le pourcentage de l'incorporation, (50%) En approchant le taux de porosité du gravier, (44.80% pour 8/16) surtout que lui la quantité de gravier 3/8 dans ce fraction égal zéro.

Le pourcentage de 50% fait un equilibre entre les granulats.

Le traitement de granulats de PVC , provoque une augmentation dans la porosité, est due l'augmentation de volume de granulats, après traitement, et l'adhésion les uns aux autres, sauf la fraction 30%, on peut considérer un cas exceptionnelle.

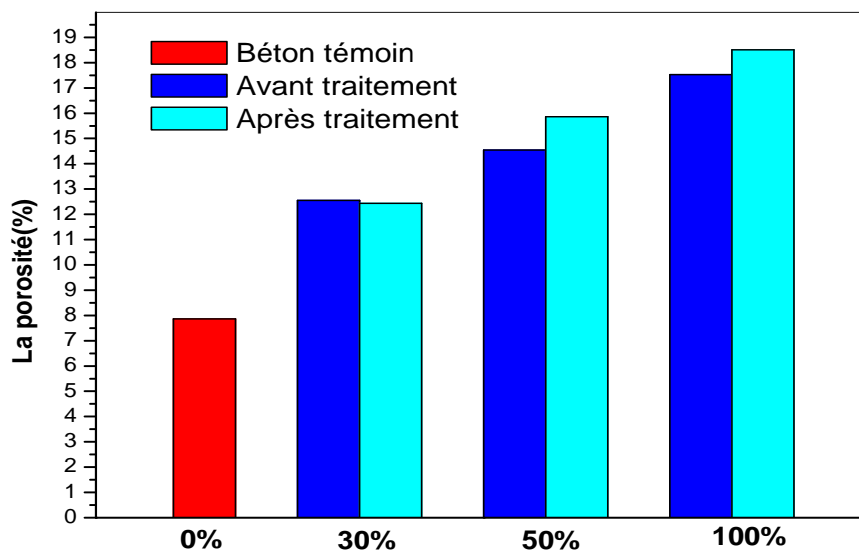


Figure (IV-31) : La porosité en fonction du pourcentage de granulats PEHD avant et après traitement.

La figure (IV-31) montré que, Chaque augmentation du pourcentage de granulats PEHD avant ou après traitement dans le béton provoque une augmentation dans la porosité.

Comme le béton a base des granulats de PVC, l'utilisation de granulats de PEHD après traitement dans le béton provoque une augmentation dans la porosité.

La porosité de béton préparé à base des granulats PEHD est plus élevée que ceux préparés à base de granulats de PVC, sauf la fraction 30%

#### **IV-7-Capacité d'absorption d'eau massique « Ab » :**

##### **IV-7-1-béton à granulats PVC :**

Les résultats groupé dans les tableaux ce dessous

##### **a-Avant traitement :**

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	M <sub>sat</sub>	M <sub>sec</sub>	Ab(%)	Ab(%) moy
PVC	0%	1	2.370	2.225	6.516	6.556
		2	2.350	2.205	6.575	
		3	2.349	2.204	6.578	
	30%	1	2.215	2.050	8.048	8.043
		2	2.220	2.054	8.081	
		3	2.214	2.050	8.000	
	50%	1	2.100	1.980	6.060	6.003
		2	2.212	2.093	5.865	
		3	2.214	2.087	6.085	
	100%	1	1.862	1.714	8.634	8.569
		2	1.865	1.719	8.493	
		3	1.860	1.713	8.581	

**Tableau (IV-20) : L'absorption du béton en granulats PVC avant traitement.**

**b-Après traitement :**

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	M <sub>sat</sub>	M <sub>sec</sub>	Ab(%)	Ab(%) moy
PVC	0%	1	2.350	2.205	6.575	6.556
		2	2.349	2.204	6.578	
		3	2.370	2.225	6.516	
	30%	1	1.716	1.591	7.856	7.816
		2	2.217	2.060	7.621	
		3	1.720	1.593	7.972	
	50%	1	1.484	1.399	6.075	6.107
		2	2.062	1.950	5.743	
		3	1.490	1.399	6.504	
	100%	1	1.313	1.203	9.143	9.150
		2	1.310	1.201	9.075	
		3	1.313	1.202	9.234	

Tableau (IV-21) : L'absorption du béton en granulats PVC après traitement.

**V-7-2-béton à granulats PEHD :****a-Avant traitement :**

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	M <sub>sat</sub>	M <sub>sec</sub>	Ab(%)	Ab(%) moy
PEHD	0%	1	2.370	2.225	6.516	6.556
		2	2.350	2.205	6.575	
		3	2.349	2.204	6.578	
	30%	1	2.219	2.063	7.561	7.614
		2	2.220	2.062	7.662	
		3	2.217	2.060	7.621	
	50%	1	2.058	1.890	8.888	8.922
		2	2.060	1.891	8.937	
		3	2.059	1.890	8.941	
	100%	1	1.665	1.487	11.970	12.014
		2	1.660	1.480	12.162	
		3	1.663	1.486	11.911	

Tableau (IV-22) : L'absorption du béton en granulats PEHD avant traitement.

## b-Après traitement :

Type de granulats	Pourcentage de l'incorporation	N° D'éprouvette	M <sub>sat</sub>	M <sub>sec</sub>	Ab(%)	Ab(%) moy
PEHD	30%	1	1.610	1.493	7.836	7.888
		2	1.716	1.591	7.856	
		3	1.720	1.593	7.972	
	50%	1	1.570	1.454	7.977	8.073
		2	1.572	1.451	8.339	
		3	1.570	1.455	7.903	
	100%	1	1.624	1.406	15.504	15.552
		2	1.620	1.402	15.549	
		3	1.615	1.397	15.604	

Tableau (IV-23) : L'absorption du béton en granulats PEHD après traitement.

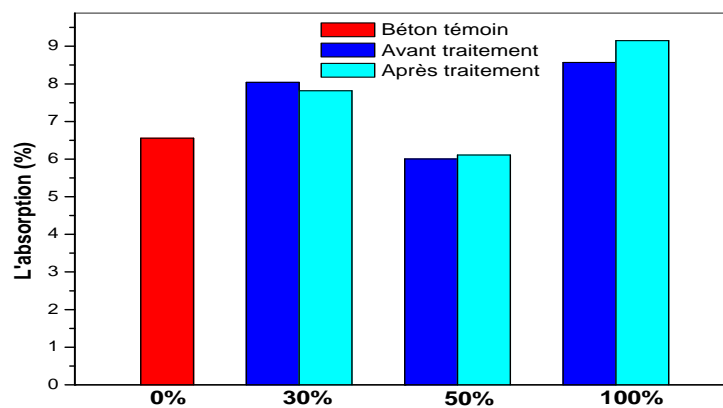


Figure (IV-32) : L'absorption en fonction du pourcentage de granulats PVC avant et après traitement.

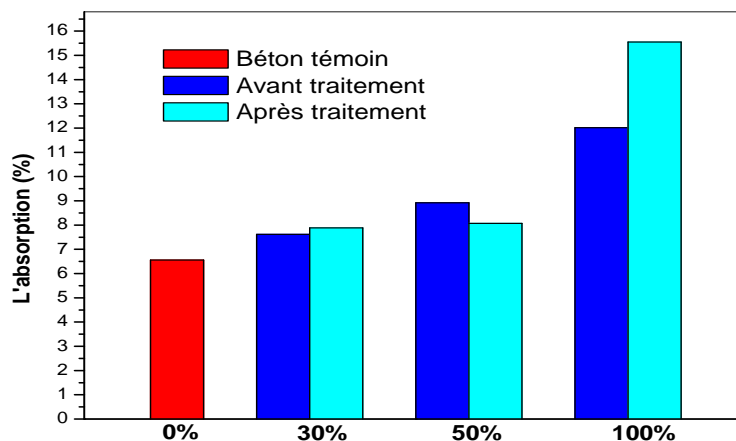


Figure (IV-33) : L'absorption en fonction du pourcentage de granulats PEHD avant et après traitement.

A partir la figure ci-dessous, on remarque que l'augmentation du pourcentage de granulats PVC ou PEHD avant ou après traitement dans le béton provoque une augmentation dans l'absorption, cette augmentation est due à la présence de pores dans le béton qui aide à absorber l'eau, sauf la fraction de granulats 50% PVC avant traitement à cause de diminution de la porosité dans cette fraction.

L'absorption de béton préparé à base des granulats PEHD est plus élevée que ceux préparés à base de granulats de PVC, sauf la fraction 30%, est due a la porosité dans ce fraction.

Traitement du granulats de PVC ou PEHD provoque une augmentation de l'absorption, est due l'augmentation de la porosité

#### IV-8- Influence granulats de PVC et PEHD sur la fissuration:

L'influence du dosage en granulats PVC et PEHD sur la fissuration après l'écrasement.

L'observation de la fissuration est faite à partir la forme de les éprouvettes après l'écrasement lorsque on observe.

Les photographies de la figure (IV-34) représentent l'état de la fissuration observée sur les éprouvettes du béton soumis à la traction par flexion.



30% PVC.



50% PVC.



100% PVC.



50% PEHD



50% PEHD



50% PEHD



0%

Figure (IV-34) : Etat de la fissuration d'éprouvettes après l'écrasement.

A partir la figure on remarque que la cinétique de la fissuration, différente lorsque les granulats PVC et PEHD sont ajoutés.

Dans ce dernier cas, on peut expliquer en grande partie le comportement observé par une redistribution des contraintes qui freine le processus de propagation de la fissuration. En effet, à chaque fois qu'une fissure débouche sur un granulat PVC, il se produit une relaxation des contraintes et un incrément plus important de la flèche est donc requis pour réamorcer le processus de propagation de la fissure.

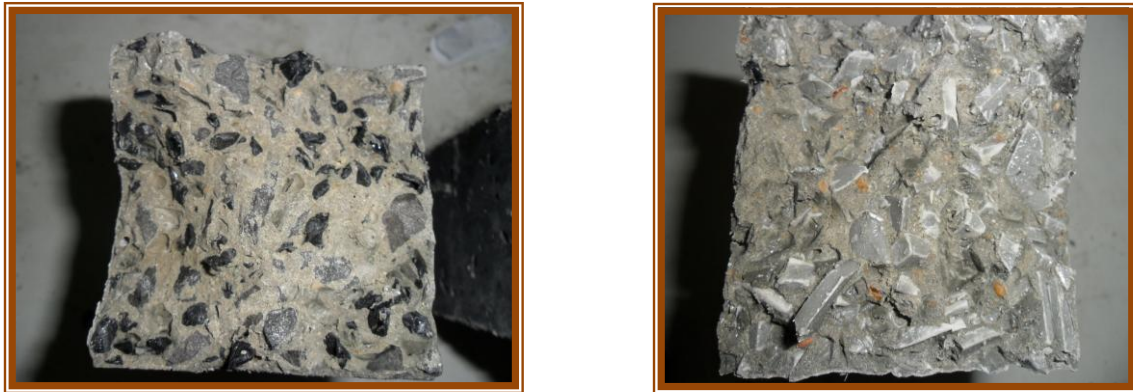


Figure (IV-35) : Etat de sur face d'éprouvettes après l'écrasement.

#### IV-9- Influence de chaleur sur le composite :



Figure (IV-36) : Etat d'éprouvettes après chauffage

A travers les images montrées à la Figure (IV-36) note qui le chauffent un impact important sur le béton en granulés de PEHD, Contrairement le béton en granulés de PVC.

Chaque augmentation de l'intégration des granules de PEHD dans le béton augmente l'effet de la chaleur sur le béton, par l'augmentation des fissures de béton. Parce que les granules de PEHD étendu et affecté par la chaleur.

Béton en granules de PVC ne sont pas affectés par la chaleur, parce que les granules en plastique ne sont pas affectés par la chaleur.

#### IV-10- Influence de traitement de granulats de PVC et PEHD sur comportement du béton :

A partir les images montrées à les figures ci-dessous on remarque que le traitement des granulats de PVC et PEHD provoqué une ségrégation entre les granulats du béton ceci est dû à la force d'attraction que l'apparition d'un post-traitement.



Figure (IV-37) : épreuve de béton de 30% de granulats de PVC après traitement.



Figure (IV-38) : épreuve de béton de 30% de granulats de PVC avant traitement.



Figure (IV-39) : épreuve de béton de 100% de granulats de PVC avant traitement.



Figure (IV-40) : épreuve de béton de 100% de granulats de PVC après traitement.





Figure (IV-41): épreuve de béton de 50% de granulats de PEHD avant traitement.



Figure (IV-42): épreuve de béton de 50% de granulats de PEHD après traitement.



Figure (IV-43): épreuve de béton de 100% de granulats de PEHD avant traitement.



Figure (IV-44): épreuve de béton de 100% de granulats de PEHD après traitement.



L'incorporation de granulats PVC et PEHD dans le béton confère au gain en capacité de déformation, (voir figure (IV-45)).



**Béton témoin.**



**Béton de 30% de granulats de PVC.**



**Béton de 50% de granulats de PVC.**



**Béton de 100% de granulats de PVC.**



**Béton de 30% de granulats de PEHD.**



**Béton de 50% de granulats de PEHD.**



**Béton de 100% de granulats de PEHD.**

**Figure (IV-45) : Les éprouvettes après l'écrasement.**

## **Conclusion générale**

Dans cette étude, les potentialités de valoriser les déchets de tuyaux endommagés en PVC et PEHD dans le béton, a été étudié. L'objectif principal de ce mémoire est l'étude de la possibilité de produire un béton léger à base de déchets industriels (tuyaux en PVC et en PEHD endommagés et déchiquetés). La démarche expérimentale entreprise consiste à l'étude de l'effet de granulats de PVC et de PEHD sur les propriétés du béton aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci.

Les principales conclusions tirées à partir de cette étude sont:

- L'intégration des granulés de PVC et PEHD dans le béton améliore de certains des caractères tels que la légèreté, l'isolation thermique, acoustique et la résistance à la fissuration.
- L'introduction de granulats de PVC et de PEHD induit une chute de propriétés mécaniques (résistance en compression et en traction). Par ailleurs, l'incorporation de granulats de PVC et de PEHD augmente la porosité et l'absorption.
- Le béton préparé à partir de granulats PEHD est affecté par la chaleur, là où ils apparaissent des fissurations, Pendant le chauffage des éprouvettes. Ces fissurations augmentent avec le l'augmentation du pourcentage de granulats de PEHD ajouté.
- Le traitement de granulats de PVC et PEHD par la résine, affecte négativement la résistance, et augmente la porosité et l'absorption. La chute de résistance est peut être due à une mauvaise adhérence des particules de PVC et de PEHD avec la pate de ciment. La chute de résistance est plus envisagée avec les mélanges contenant les déchets de PEHD que les mélanges contenant les déchets de PVC.
- Le béton préparé à base de granulats de PEHD est plus léger par rapport au béton préparé à base de granulats de PVC.

Toutefois, malgré la chute de résistance recensée, la valorisation de ce type de déchets industriels dans les bétons présente un déficit majeur, puisque il existe toujours dans certaines applications de génie civil, des éléments qui peuvent être fabriqués à base du béton léger et contenant des déchets de PVC et de PEHD, et qu'ils ne nécessitent pas de grandes résistances. Parmi les applications pratiques des bétons élaborés dans cette étude on retrouve les éléments décoratifs, les grandes surfaces de piétons, les applications d'isolation thermique et acoustique comme l'étanchéité.

## *Conclusion générale*

Par ailleurs, les résultats de traitement avec la résine des particules de PVC et de PEHD apparaissent en contradiction avec les recherches de littérature. Ces travaux ont montré que la modification de l'état de surface de granulats artificiels (en caoutchouc, en bois, ou en plastic) conduit à une amélioration des propriétés mécaniques.

En fin, pour mettre à bien les résultats obtenus dans ce mémoire, il est recommandé de rechercher d'autres techniques pour améliorer la relation inter-faciale entre les particules de PVC et de PEHD d'une part, et la pate de ciment d'autre part, pour assurer les meilleures performances du produit final

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- [1] Tasserie .M ; Bideau .D ; Optimisation Physicochimique d'un matériau expansé ;Université de Rennes 1, Rennes, France ; thèse de doctorat ; sciences des matériaux ; 1991.
- [2] Venuat. M; Du béton mousse au béton de polystyrène ; 1983
- [3] Ouadi R. ; Conception d'un panneau sandwich isolant-porteur ; Thèse de doctorat en Sciences appliquées ; 1991, Villeurbanne, INSA
- [4] Comare , Matériaux des constructions-Edition Mire Moscou 1976
- [5] Short A , Kinniburgh W; Lightweigh concrete; CR books; 1968.
- [6] Arnould .M Et Virlogeux .M. « Granulats et bétons légers » Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1986
- [7] Malhotra .V ; Matériaux complémentaires en cimentation pour le béton ; centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie ; Ottawa 1989.
- [8] Ke .Y, Beaucour .Al, Ortola .S, Dumontet .H , Cabrillac .R ; Comportement mécanique des bétons de granulats légers : étude expérimentale et modélisation ; 24ème rencontre AUGC Montpellier ; juin 2006.
- [9] Ke .Y, Beaucour .Al, Ortola .S, Dumontet .H; « Influence of volume fraction and characteristics of lightweight aggregate concrete on the mechanical properties of concrete », Construction and Building Materials, vol. 23, 2009, p: 2821-2828.
- [10] Ke .Y, Ortola .S, Beaucour .Al, Dumontet .H , « Identification of microstructural characteristics in lightweight aggregate concretes by micromechanical modeling including the interfacial transition zone (ITZ) », Cement and Concrete Research, vol. 40, 2010, p:590-1600.
- [11] Zhang .M-H & Gjorv .O-E; Characteristics of ligh tweight aggregates for high-strength concrete, ACI Materials Journal; p:88(2),150-158 ; 1990.
- [12] Bederina .M , Marmoret .L , Mezreb .K , Khenfer .M-M, Bali .A Et Queneudec .M ; Effect of the addition of wood shavings on the thermal conductivity of sand concretes :experimental study and modeling ; construction and building materials ;p: 21,662-668 ; 2007.
- [13] CHEN B Et LIU J ; Properties of lightweight expanded polystyrene concrete reinforced with steel fiber ; cement and concrete research ; vol34 : N°12 , p59-63 ; 2004 .105
- [14] Benazzouk .A, Douzane .O, Langlet .T, Mezreb .K, Roucoult .J-M Et Queneudec .M ; Physico-mechanical propeties and water absorption of cement composite containing shredded rubber wastes ; cement and concrete composites research ; vol29 : N°10 , P732-740; 2007 .
- [15] Benazzouk .A, Douzane .O, Mezreb .K, Laidoudi .Bet Queneudec .M ; Thermal conductivity of cement composites containing rubber wastes particules : experimental study and modeling ; construction and building materials ; vol22, P573-579 ; 2008.
- [16] TURGUT P Et YESILATA B; Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber added bricks ; Energy and Buildings, Volume 40, Issue 5, Pages 679-688 ;2008.
- [17] Merino, Astorqui et Cortina; Viability analysis and constructive applications of lightened mortar (rubber cement mortar) ; Construction and Building Materials, Volume21,Issue 8, Pages 1785-1791, August 2007.
- [18] Benmalek .Ml, Bouguerra .A, Ledhem .A, Dheilily .Rm Et Queneudec .M ;Caractéristiques de bétons légers à base de résidus d'exploitation de carrières et de bois »Article : canadian journal of civil engineering, pp374 -377 ; 1999.
- [19] Al Rim .K, Ledhem .A, Douzane .O, Dheilily .Rm Et Queneudec .M ; Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites ; Cement and Concrete Composites ; volume 21, Issue 4, Pages 269–276 , August 1999.
- [20] Bederina .M, Laidoudi .B, Goullieux .A, Khenfer .Mm, Bali .A Et Queneudec .M ; Effect of the treatment of wood shavings on the physico-mechanical characteristics of wood sand concretes ; Construction and Building Materials ;Volume 23, Issue 3, Pages 1311–1315 ,March 2009.

- [21] Houssais .L, Benmalek .Ml, Ledhem .A Et Queneudec .M ; Matériaux à faible impact environnemental « Le comportement à hautes températures du béton de bois à matrice argileuse » revue materials &composites ; 2000.
- [22] Bouaziz .S, Ait Tahar. K ; Béton léger à base de granulats composites artificiels ; Annales du BTP ; N°4 :pages 16-22 ; Août 2010.
- [23] Kodur .V.K.R « Tenue au feu des éléments de structure en béton haute résistance » Conseil national de recherches du Canada, 1999.
- [24] Beaudoin J.J., Hand book of fiber reinforced concrete; principles properties, developments and applications, Noyes publication, USA, 1990.
- [25] Chen B Et Liu J, « Experimental application of mineral admixtures in lightweight concrete with high strength and workability », Construction and Building Materials, vol. 22,pp. 655-659,2008.
- [26] Tassew .St Et Lubell .As; Mechanical properties of glass fiber reinforced ceramic concrete Construction and Building Materials, Volume 51, 31 January 2014, Pages 215-224
- [27]: R.Dupath, R.Lahchon, J.C.Saint.Arroman, Granulats, sols, ciments,et bétons-El educative
- [28]: Kedjour Nasr Eddin, Propriété et pathologie du béton-Office des publications universitaires Alger 1993
- [29]: Rôle de la granulométrie des composants du ciment portland aux ajoutes sur sa qualité Projet de fin d'étude
- [30]: Georges DREUX et jean FESTA, Nouveau guide du béton-Edition 7 Eyrolles 1995
- [31] : R.Dupain- R.Lahchon –J.C.Saint –arroman : Granulats, sols, ciments et béton. Nouvelle édition conforme aux normes européennes.
- [32] : Groupe de travail PVC C/O SES Le PVC en qustions –paris-1998
- [33] : Maou SAMIRA, Thèse de magister, Etude de propriétés thermique de mélange à base PVC-PEHD et les phénomènes de dégradation, Année 2012

## ملخص :

إن الأبحاث الحالية في مجال مواد البناء موجهة إلى تامين المواد الخفيفة الطبيعية أو الاصطناعية لضمان تخفيف بعض عناصر البناء و من ناحية أخرى، توفير الطاقة من خلال تخفيض التوصيل الحراري.

هذه الدراسة إمكانية لتطوير الخرسانة خفيفة الوزن إنطلاقاً من إستعادة نفايات أنابيب الفينيل متعدد الكلوريد وأنابيب متعدد الإيثيلان عالي الكثافة، وأضيفت هذه النفايات إلى الخرسانة كبديل جزئي أو كلي من إجمالي حجم الحصى.

على الرغم من التأثير السلبي على المقاومة الميكانيكية للضغط لدمج حبيبات الفينيل متعدد الكلوريد ومتعدد الإيثيلان عالي الكثافة في الخرسانة، إلا أنها تمثل طريقة طموحة لإسترجاع النفايات في مجال تصنيع مواد البناء و خاصة تلك التي لا تتطلب مقاومة عالية للضغط.

إذا قلنا أن دمج حبيبات الفينيل متعدد الكلوريد و متعدد الإيثيلان عالي الكثافة في الخرسانة يؤثر سلباً على الخواص الميكانيكية للخرسانة، هذا لا يعني أنه لا يوجد لديه تأثير إيجابي حيث أنه يقلل من ظهورات التشققات ، و يحسن العزل الحراري والصوتي، و إمتصاص الضغط.

## Résumé :

La recherche actuelle dans le domaine des matériaux de construction est orientée vers les matériaux légers naturels ou artificiels pour assurer l'allègement de certains éléments de construction et d'autre part, une économie d'énergie par la réduction de la conductivité thermique.

Cette étude la possibilité de élaboration un béton léger à partir de valorisation des déchets de tuyaux en Polychlorure de vinyle (PVC) et de tuyaux en polyéthylène haut densité (PEHD), ces déchets ont été ajouté au béton en remplaceant partiel du volume total du gravier.

L'incorporation des granulats de PVC et PEHD dans le béton, malgré son influence négatif sur la résistance mécanique à la pression, il représente une méthode ambitieuse pour la valorisation des déchets dans le domaine de la fabrication des matériaux de construction surtout celle qui ne nécessite pas une grande résistance à la pression.

Si nous disons que l'intégration des granules de PVC et PEHD dans le béton affecte négativement sur les propriétés mécanique du béton, ça ne veut pas dire qu'il n'a pas d'influence positif puisque, il réduit les fissurations, et amélioré l'isolation thermique et acoustique, et sont absorber à la pression.

## Abstract :

The Current research in the field of building materials to the development of natural or artificial light materials security alleviate some construction elements on the other hand, energy saving by reducing the thermal conductivity.

This study the possibility of developing a lightweight concrete from valuation of waste pipes polyvinyl chloride pipe (PVC) and high density polyethylene (HDPE) pipe, this waste was added to the concrete part or in full as an alternative of the total volume of gravel.

Despite the negative impact on the mechanical resistance to pressure for the integration of multi-grain vinyl chloride and high-density multi-Alaathelan in concrete, but it represents an ambitious way to retrieve waste in the manufacture of building materials, especially those that do not require high resistance to pressure.

The incorporation of PVC and HDPE aggregates in concrete, despite its negative influence on the mechanical resistance to pressure, it represents an ambitious approach to the recovery of waste in the field of manufacture of building materials , especially those that do not require high resistance to pressure.

If we say that the integration of PVC and HDPE granules in the concrete negative effect on the mechanical properties of concrete, it does not mean it has no positive effect since it reduces cracking, and improved thermal and acoustic insulation, and are absorbing the pressure.