



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université Echahid Hamma Lakhdar d'ElOued

Faculté de Technologie

Département de Génie Civil et Hydraulique

Mémoire de Fin d' études Présenté en vue de l'obtention du diplôme du Master en Génie civil

Option: Matériaux en Génie civil

THEME

CARACTERISATION ET FORMULATION D'UN ECO-BETON A BASE DES DECHETS ENVIRONNEMENTAUX

➤ Dirigé par:

☒ Dr/ DJEDID Tarek

➤ présenté par:

☒ Hocine BEN KHELIFA

☒ Ramzi BADEREDDINE

☒ Salim GOHIZ

☒ Saïd HABA

☒ Tedjani MAOUCHE

Devant le jury composé de:

- Président: Dr. Mani Mohammed
- Rapporteur de thème: Dr. Djedid Tarek
- Examineur: Dr. Logbi Abdelaziz

Promotion: juin 2022

Mémoire préparé au sein du Laboratoire d'Exploitation et de Valorisation des
Ressources Énergétiques Saharienne

Remerciements

Au terme de notre travail, nous tenons à remercier DIEU Miséricordieux qui nous a donné la force, la volonté et la patience pour achever ce mémoire.

Notre famille pour leur sacrifices, aides, encouragements et soutiens. Docteur Tarek DJEDID, notre directeur du mémoire, pour son aide, sa patience, ses encouragements sans cesse et pour la confiance qu'il nous a accordée. Monsieur le chef de département, ainsi que les professeurs qui nous ont enseigné durant notre cycle de formation, pour tout savoir acquis. également adresser nos plus sincères remerciements à Messieurs Farik Ali, Mani Mohamed, Kaab Med Zouhir, Ilyes Soulimane, Logbi Abdelaziz, Dr. Beddadi Laid

Nos remerciement s'adressent aussi à tous les docteurs et Membres de Laboratoires pour leur aide que ce soit à l'université Echahid Hamma Lakhdar, aux Laboratoires privées: Messieurs les ingénieurs et les techniciens du laboratoire de l'institut de formation professionnelle de la ville d'Eloued, messieur Ouallabi said pour son aide, assistance et sympathie durant notre travail expérimental dans son laboratoire, monsieur Zerig Tahar, labo-sedira, labo-Sud, labo mahmoudi Bachir.

Tout le personnel du département de génie civil pour leur soutien. Nos amis, camarades, collègues pour leurs aides et soutiens. Toute personne qui a aidé de près ou de loin pour l'achèvement de ce travail.



Dédicaces

Pour la mémoire de :

*mon cher père, Ali Benkhelifa
Et ma chère mère Mebarka Gherissi
qui ont laissé un grand vide dans ma vie*

Et je dédie ce travail à :

*Ma chère épouse, Toudad
Et mes enfants, Sara, Ines, Hanine, Mohammed Bachir,
Ali, Hatem
A mes frères, et sœurs
A mes amis,
A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin
pour accomplir ce travail.*

Hocine Benkhelifa



Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mon cher père Djamel Badereddine

Et ma mère Salíha Badereddine

*A mes frères, djabaria, ala eddine, Marwa,
Ahmed taoufik, hani, ouíjdane, níhal, nidal
à mes amis,*

*Pour tous ceux qui ont contribué directement
ou indirectement pour accomplir ce travail.*

Badereddine Ramzi





Dédicaces

*A ma chère maman
que Dieu lui accorde longue vie...*

*A mon père
que Dieu lui accorde la paix, large ciel...*

*A tous mes frères et sœurs...
A tous ceux qui ont été soutenus et aidés dans cette
aventure...*

Je dédie le fruit de cet effort

Gohiz Salim





Dédicace

Pour la mémoire de :

*mon cher père, abdelhafid
a ma mère oirida*

Et je dédie ce travail à :

*Ma chère épouse, nacira
Et mes enfants, abdelhafid ,Oussama,
fatma Zahra , wourod , touka*

A mes frères, ali

A mes sœurs, aicha

A mes cousin ,bechira

A mes amis,

*A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin
pour accomplir ce travail.*

Said Haba



Résumé

L'industrie du béton est conditionnée par les ressources locales ,Cependant cette industrie est confrontée ces dernières années à des changements importants: la valorisation des ressources naturelles comme les sables (de dune et Louss) ainsi que les déchets de démolition des bétons conduisent à développer de nouveaux bétons (béton à base des granulats naturels et bétons à base des granulats recyclé, ... etc)

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'effet de substitution de sable recyclé par le sable de louss et en appliquant de pourcentage croissant (0%, 20%, 40%, 60% ,80% et 100%) et ce de vérifier l'incidence sur les propriétés des béton formules, dans cette étude on a choisis le béton témoin à base de 100% de sable recyclé provient des éprouvettes écrasés.

Dans ce travail nous avons étudié la caractérisation des matériaux utilisés et la formulation des bétons à base de granulats recyclés et du sable de louss provenant de la région du oued souf.

Pour cela, nous avons préparé un programme expérimental de plus de 130 éprouvettes ont été confectionnées en béton à base de différents mélanges et nature de sable. les types des éprouvettes normalises utilisées sont (cubiques,10x10x10cm, cylindriques 11/22cm et prismatiques 7/7/28cm).

Les essais effectués au laboratoire visent principalement les caractéristiques physiques (masse volumique et affaissement) et les propriétés mécaniques (compression, traction, flexion et ultrasonique)et autre propriété tel que l'aspect de durabilité(absorption par capillarite et accessibilité à l'eau)

Les résultats obtenus montrent que le bétons réalisé à base de 80% sable recyclé et 20% de sable de louss présente la meilleure résistance mécanique (à la compression à la, traction et à la flexion) par rapport le béton témoin à base seulement de granulats recyclé.

Mots clé : Béton, sable recyclé, sable louss, valorisation des matériaux, formulation, comportement mécanique, durabilité.

ملخص

ان صناعة الخرسانة مشروطة بالموارد المحلية. وهذه الأخيرة أصبحت تعرف تحولا كبيرا عن طريق تثمين الموارد الطبيعية ورسكلتها واستغلالها من جديد مثل رمل لوسة وأيضا مخلفات الهدم خراسانية والتي تساهم في التنمية المستدامة وصناعة خراسانية ايكولوجية (الركام مدور) .

ان هدف هذه الدراسة هو تقييم تاثير النسب المضافة من الرمل اللوس (0%، 20%، 40%، 60%، 80%، 100%) على سلوك الخرسانة من الركام المدور (الرمل و الحصى).
في هذا البحث قمنا بدراسة خصائص المواد والتركيبية الخراسانية والتي اعتمدنا فيها على الركام المدور و رمل اللوس من منطقة سوف .

من اجل هذا قمنا بإعداد برنامج تجارب لستة 06 خلطات خراسانية من الرمل بنسب مختلفة من رمل مدور و رمل اللوس شملت اكثر من 130 عينة بين (مكعبة 10/10/10 سم واسطوانية 22/11 سم و بريزماتية 28/7/7 سم).

التجارب المخبرية تمثلت في الخصائص الفيزيائية (الكتلة الحجمية و الهبوط) والخصائص الميكانيكية (الضغط و الشد و الانحناء و التراسو) وكذلك الخصائص المرتبطة بالديمومة (الامتصاص الشعيري وحجم الفراغات بالخرسانة)

النتائج المتحصل عليها بينت ان الخرسانة المعدة من الركام المدور 80% مضاف اليه رمل اللوس 20% حققت نتائج مقبولة من ناحية ميكانيكية (ضغط و الشد والانحناء) بالمقارنة بالخرسانة الشاهدة المعتمدة على الركام المدور فقط وهذا على مستوى الخصائص الميكانيكية اما بالنسبة الفيزيائية الهبوط المسجل في مختلف الخرسانة المشكلة تراوح بين 5 الى 7.5 سم من اجل نسبة الماء على الاسمنت تساوي 0.55 حيث لاحظنا ان نسبة الاقل كانت للخرسانة الشاهدة.

الكلمات المفتاحية : خرسانة – رمل مدور – رمل لوس – الاستبدال - المزوجة - تثمين المواد - تركيبية خراسانية - خصائص ميكانيكية – الديمومة.

Abstract

The concrete industry is conditioned by local resources. The latter became known for a major transformation through the valorization, recycling and re-exploitation of natural resources such as the Losa sand, as well as concrete demolition waste, which contributes to sustainable development and ecological concrete industry (rounded aggregate).

The aim of this study is to evaluate the effect of added proportions of loess sand (0% - 20% - 40% - 60% - 80% - 100%) on the concrete behavior of recycled aggregates (sand and gravel).

In this paper, we studied the properties of concrete materials and their composition, as we relied on recycled aggregates and loess sand from the Soof place.

For that, we have prepared an experiment program for 06 concrete admixtures for a different rates from recycled sand and loess comprised more than 130 samples between (cubic 10x10x10 cm, cylindrical 22x11 cm and prism 28x7x7cm).

Concrete mixtures of sand in different proportions of round sand and loess sand.

The obtained results showed that the concrete prepared from the recycled aggregate 80% with the addition of loess sand 20% achieved acceptable results from a mechanic side (stress and tension and crouch) compared to the concrete that was based on the recycled aggregate only, and this is at the level of mechanical properties and in the physics view the recorded drop in concrete wobble between 5 to 7.5 cm for a rate of water on concrete equal to 0.55 we remark the less rate was to the concrete.

Key words: concrete - recycled sand - loess sand - material valuation - concrete composition - mechanical properties - permanence.

TABLE DES MATERES

Remerciements	I
Résumé	VI
ملخص	VII
Abstract	VIII
TABLE DES MATERES	IX
LISTE DES FIGURES	XIII
LISTE DES PHOTO	XV
LISTE DES TABLEAUX	XVI
LISTE DES ABREVIATIONS	XVIII
Introduction Générale.....	1
Introduction:	2
CHAPITRE-I Synthèse Bibliographique	6
Partie A: Valorisation Des Déchets, Règlementation Et Environnement	7
I-1- Introduction:	7
I-2- Définition De Déchet:	7
I-3- Classification Des Déchets:.....	7
I-3-1- Déchets Solides Urbains:	7
I-3-2- Déchets Ménagers Et Assimiles:	8
I-3-3- Déchets Agricoles:	8
I-3-4- Déchets Industriels Banals (DIB) Ou Déchets Non Dangereux:	8
I-3-5- Déchets Industriels Spéciaux:	8
I-3-6- Déchets Hospitaliers:	8
I-3-7- Déchets inertes:	8
I-4- La Gestion Des Déchets:	9

I-4-1- La Gestion Des Déchets Dans Le Monde:	9
I-5- Traitement et valorisation des déchets:	15
I-5-1- Le traitement des déchets:	15
I-5-2- La valorisation des déchets:	15
I-5-2-4- La réduction à la source:	18
I-5-3- Traitement pour la valorisation:	19
Partie B: Granulats Recyclés Et Bétons	21
I-6- valorisation des déchets dans le génie civil:	21
I-6-1- Les granulats recyclés:	21
I-6-2- les pierres de lous:	28
I-7- Béton à base des granulats recyclés:	29
I-7-1- Propriétés du béton à l'état frais:	30
I-7-2- Propriétés du béton à l'état durci:	34
I-7-3- Durabilité du béton avec granulats recyclés:	37
Conclusion:	43
CHAPITRE II: CARACTERISATION DES MATERIAUX	45
II-1- Introduction:	46
II-2- Matériaux et procédures expérimentaux:	46
II-2-1- Identification des matériaux utilisés:	46
conclusion:	51
II-2-2- procédures expérimentales:	52
II-2-3- Résultats et discussions:	64
II-3- Conclusion:	79
CHAPITRE III : Formulation des Bétons et Méthodes Expérimentales	80
III-1- Introduction:	81

III-2- Composition et formulation des bétons et mélanges retenus:	82
III-2-1- Nomenclature des bétons étudiés:	82
III-3- La méthode de Formulation (Dreux- Gorisse):	83
III-3-1- Les étapes d'application de la méthode Dreux-Gorisse:.....	84
III-4- Confection du béton:	95
III-4-1- Procédure de malaxage [EN 480-1]:	95
III-4-2- Vibration [NF P18 421]:	96
III-4-3- Confection des éprouvettes [NF P18 404]:	96
III-5- Caractéristiques des bétons à l'état frais:	98
III-5-1- Essai d'affaissement au cône d'Abrams [NF P 18-439]:	98
III-5-2- La masse volumique[NF EN 12350-6]:	99
III-6- Caractéristiques des bétons à l'état durci:	100
III-6-1- Masse volumique du béton à l'état durci:	100
III-6-2- La résistance à la compression NF P18-406:	100
III-6-3- Essai de flexion [NF 12390-5]:	101
III-6-4- La résistance à la traction par fendage sur éprouvette 110/ 220 mm est obtenue par cette formule :.....	102
III-6-5- Essais D'auscultation Sonore (Ultra-Son):	103
III-7- Les essais de durabilité:	105
III-7-1- L'absorption d'eau:	105
III-7-2- Porosité volumique du béton:.....	107
Conclusion:.....	110
CHAPITRE IV: Résultats & Discussions	112
IV-1- Introduction:	113
IV-2- Caractérisation à l'état frais:.....	113

IV-2-1- Masses volumiques:	113
IV-2-2- Affaissement au cône d'Abrams:.....	114
IV-3- Caractérisation physico-mécaniques à l'état durci:	115
IV-3-1- Masse volumique:	115
IV-3-2- essai Ultrasonique sur éprouvette cylindrique 11/22cm (essai non destructif):....	116
IV-3-3- Essai destructif:	117
IV-4- Essais de durabilité (Aspect physique):.....	119
IV-4-1- Absorption d'eau par capillarité:	119
IV-4-2- La porosité accessible à l'eau:	123
Conclusion et Recommandations	106
1- Conclusion:	126
2- Recommandation:	127
Références Bibliographique	128

LISTE DES FIGURES

Figure I-01: Composition des DMA en 2018/2019	13
Figure I-02: configuration générale d'un granulat recyclé.....	23
Figure I-03: Vue en coupe du granulat recyclé (gauche) et du granulat naturel (droite) [Otsuki et al., 2003].....	26
Figure I-04: carcteristiques de la zone de transition	27
Figure I-05: Masse volumique à l'état frais du béton en fonction de différents pourcentages et types de granulat recyclé [Bravo et al., 2015].....	34
Figure I-06: les coefficients de diffusion de différents bétons.....	38
Figure I-07: la variation de la perméabilité avec le taux de remplacement des granulats naturels par les granulats recyclés	39
Figure I-08: Profondeur de pénétration de l'eau en fonction du rapport E/C pour différents grades de substitution de granulat recyclé à 365 jours d'âge [Thomas et al., 2013]	40
Figure I-09: Variation de la profondeur de carbonatation avec le taux de remplacement de granulat naturel fin par granulat recyclé fin [Evangelista et al., 2010]	42
Figure II-01: courbe granulométrique des 100% sables recyclé et 100% louss.....	66
Figure II-02: courbes granulométriques des 80% sables recyclé et 20% louss et des 20% sables recyclé et 80% louss	69
Figure II-03: courbes granulométriques des 60% sables recyclé et 40% louss et des sables 40% recyclé et 60% louss	72
Figure III-01: Graphique indiquant Approximativement le dosage en ciment	86
Figure III-02: courbe granulaire (O A B).....	89
Figure III-03: courbe de différents pourcentage des granulats	90
Figure III-04: Schéma du dispositif de la mesure de l'absorption d'eau par capillarité.	106
Figure IV-01: Histogramme de Masses volumiques des différents bétons a l'état frais	113
Figure IV-02: Histogramme Affaissements mesurés des différents bétons	114
Figure IV-03: Histogramme Masses volumiques des différents bétons.	115
Figure IV-04: courbes de l'évaluation la vitesse de propagation du son	116
Figure IV-05: courbes de l'évaluation des résistances à la compression des différents bétons ...	117

Figure IV-06: courbes de l'évaluation des résistances à la traction par flexion des différents bétons	118
Figure IV-07: courbes de l'évaluation des Résistances à la traction par fendage des différents bétons	119
Figure IV-08: courbes de l'évaluation d'absorption capillaire à 7 jours des différents bétons.....	120
Figure IV-09: courbe de l'évaluation d'absorption capillaire à 28 jours des différents bétons	121
Figure IV-10: courbes de l'évaluation d'absorption capillaire à 60 jours des différents bétons...	122
Figure IV-11: Histogramme de comparaison d'évolution de chaque béton par échéancier (pendant 3 jour)	122
Figure IV-12: Histogramme La porosité accessible à l'eau à 28 jours.....	124

LISTE DES PHOTO

Photo II-01: sable recyclé.....	46
Photo II-02: image de sable recyclé avec MEB	46
Photo II-03: image de sable de louss avec MEB	47
Photo II-04: sable de louss	47
Photo II-05: Zone d'extraction de louss	47
photo II-06: Gravier 8/16	48
photo II-07 : Gravier 3/8	48
photo II-08: Ciment utilisé photo	49
photo II-09: tamis d'Analyse granulométrique.....	52
photo II-10: Essai d'équivalent de sable.....	54
photo II-11: Essai de masse volumique apparente.....	55
photo II-12: Masse volumique absolue	55
Photo II-13: Matériel (essai manuel) au bleu de méthylène.....	56
Photo II-14: Appareillage d'essais des insolubles.....	58
Photo II-15: Appareillage d'essais de teneur en sulfate.....	59
photo II-16: La machine de Los Angeles	62
photo III-01: Bétonnière utilisée pour le malaxage des bétons	95
photo III-02: Remplissage des différents moules.....	97
Photo III-03: Les étapes de l'essai sont déterminées	98
photo III-04: Essai de la masse volumique a l'état frais.....	100
Photo III-05: Machine de compression utilisée.....	101
Photo III-06: Machine de flexion utilisée	102
Photo III-07: Machine de traction par fendage utilisée.....	103
Photo III-08: Appareil de test ultrasonique Pundit-Lab	105
Photo III-09: Essai de l'absorption d'eau par capillarité.....	107
Photo III-10: Eprouvettes de différents bétons destinées à l'essai par pesée hydrostatique.....	108

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-01: quantité des déchets par commune	14
Tableau I-02: comparaison de traitement des déchets	16
Tableau I-03: Méthodes de traitement des ordures ménagères	17
Tableau I-04: Absorption de l'eau pour bétons contenant les granulats recyclés [César Medina et al., 2014]	35
Tableau II-01: Composition chimique du ciment.	49
Tableau II-02: Composition minéralogique du clinker.	50
Tableau II-03: caractéristiques physiques du ciment	50
Tableau II-04: Résistance à la compression et à la flexion pour prisme du ciment (40*40*160)mm	50
Tableau II-05: valeurs de l'équivalent de sable	54
Tableau II-06: classification selon VBS (SESTRA/ LCPC).....	57
Tableau II-07: norme opératoire de Los Angeles.....	63
Tableau II-08: Résultats de l'analyse granulométrique de 100% sable recyclé	64
Tableau II-09: Résultats de l'analyse granulométrique de 100% sable de louss	65
Tableau II-10: Résultats de l'analyse granulométrique de sable(80% recyclé et 20% louss)	67
Tableau II-11: Résultats de l'analyse granulométrique de sable(20% recyclé et 80% louss).....	68
Tableau II-12: Résultats de l'analyse granulométrique de sable(60% recyclé et 40% louss)	70
Tableau II-13: Résultats de l'analyse granulométrique de sable(40% recyclé et 60% louss).....	71
Tableau II-14 : Résultats de l'analyse granulométrique de Gravier recyclé GR 8/16 (NF P 18-560).....	73
Tableau II-15: Résultats de l'analyse granulométrique de Gravier recyclé GR 3/8 (NF P 18-560)	74
Tableau II-16: Résultats du coefficient d'aplatissement (NF P 18- 561).....	75
Tableau II-17: Résultats de coefficient de Los –Angeles	76
Tableau II-18: Résultats des masses volumiques et compacité.....	77
Tableau II-19: Résultats de teneur et absorption d'eau	77
Tableau II-20: Résultats de différents essais chimiques	78
Tableau III-01: Nomenclature des compositions de bétons testés	83

Tableau III-02: masse volumique des granulats.....	84
Tableau III-03: Granulométrie des agrégats par classe.....	85
Tableau III-04: Valeurs approximatives du coefficient granulaire G	86
Tableau III-05: Abaque de correction le dosage en eau.....	87
Tableau III-06: Abaque valeur du terme correcteur K	88
Tableau III-07: Evaluation de l'ouvrabilité par rapport à l'affaissement au cône.....	91
Tableau III-08: coefficient de compacité	92
Tableau III-09: Dosage pondéral de composants (pour 1 m ³ de béton)	93
Tableau III-10: Récapitulatifs détaillés de chaque type de mélange en Kg.....	94
Tableau III-11: Classe de consistance en fonction d'affaissement.....	99
Tableau III-12: Qualité du béton en fonction de la vitesse et la propagation des ondes ultrasonique	104
Tableau IV-01: La porosité accessible à l'eau à 28 jours	123

LISTE DES ABREVIATIONS

RILEM: Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux. (International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials)

ASTM: American Society for Testing and Materials.

EN: Norme Européenne définitive.

NFP: Norme Françaises applicable au bâtiment et génie civil .

AFNOR: Association Française de Normalisation .

PNAE-DD: Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable.

FEDEP: Fonds National de l'Environnement et de dépollution.

CEM II/B-L 42,5N: Ciment portland au calcaire

BTP: Bâtiment et Travaux Publics.

DI: Déchets Inertes

DIB: Déchets Industriels Banals

DIS: Déchets Industriels Spéciaux

DD: Déchets dangereux

CET: centre d'enfouissement technique

B0: Béton à base des agrégats recyclé avec 0% de sable louss (Béton témoin)

B1: Béton à base des agrégats recyclé avec 100% de sable louss

B2: Béton à base des agrégats recyclé avec 80% de sable recyclé et 20% de sable louss .

B3: Béton à base des agrégats recyclé avec 60% de sable recyclé et 40% de sable louss.

B4: Béton à base des agrégats recyclé avec 80% de sable recyclé et 20% de sable louss .

B5: Béton à base des agrégats recyclé avec 60% de sable louss et 40% de sable recyclé

GR 3/8: Gravier Recyclé classe 3/8 mm

GR 8/16: Gravier Recyclé classe 8/16 mm

MEB: Microscopie électronique à Balayage

DRX: Diffraction par Rayons X

Introduction Générale

Introduction:

Le béton est le deuxième matériau le plus consommé au monde après l'eau. L'activité du bâtiment et des ouvrages d'art consomme des ressources naturelles et génère des quantités non négligeables de déchets, le besoin en bétons nouveaux pour répondre à la demande des grands projets d'aménagement nécessite de puiser davantage dans les carrières de granulats alluvionnaires, Ceci peut entraîner comme conséquence la pollution de nappes d'eau souterraines et la transformation des sites naturels, en plus la réglementation pour l'ouverture de nouvelles carrières, oblige à chercher des solutions dans le domaine du recyclage.

L'utilisation de granulats recyclés, bien qu'ils ne représentent qu'une faible part de la production, ne cesse de progresser. Leur réemploi dans le mortier et le béton conduit à une économie de granulats alluvionnaires. Le recyclage paraît d'autant plus intéressant qu'il génère un secteur d'activité nouveau pris en charge par l'ensemble « activités locales et industriels».

La présente étude porte sur l'analyse des caractéristiques et le réemploi des granulats recyclés de béton démolie et de contribuer à la réutilisation des déchets environnementales dans la fabrication des bétons.

Le programme de cette recherche comprend donc des travaux portant sur la valorisation de ces matériaux avec intégration de matières premières locales de la région du souf (louss), Valoriser ces granulats issus des bétons de démolition ou d'autres déchets pour la fabrication de plusieurs types de bétons et peut étendre leur domaine d'utilisation actuel.

Malgré plusieurs études de recherche dans ce domaine, les granulats recyclés trouvent peu d'application en tant que granulats de béton. Néanmoins des Pays comme la Suisse ou encore le Danemark ont adopté des normes pour la fabrication de béton de granulats recyclés.

Cette valorisation présente un intérêt d'ordre économique. En effet, le réemploi des matériaux de démolition pourrait être envisagé directement sur site ou sur les plateformes de recyclage chargées du traitement. Ces plateformes pourraient alors s'occuper de la fabrication de béton à base de ces granulats recyclés.

La diminution des coûts de transports des granulats et des déchets de démolition constitue l'enjeu économique principal de ce projet, les granulats n'étant pas toujours disponibles à proximité des chantiers de construction.

Par ailleurs, ces granulats recyclés pouvant se substituer aux granulats naturels, ceci diminuerait l'épuisement des ressources naturelles.

En outre, le code de l'environnement algérien (modifié par ordonnance le 17 décembre 2010) précise que « tout producteur ou détenteur de déchets est responsable de la gestion de ces déchets jusqu'à leur élimination ou valorisation ». De ce fait, le recyclage et le réemploi des déchets inertes représentent des solutions intéressantes et s'intègrent au concept de développement durable.

L'évolution actuelle de la réglementation en matière d'environnement conduit les producteurs de déchets à les valoriser ou les réutiliser en particulier dans différents domaines de la construction et par voie de conséquence de limiter la mise en décharge uniquement des déchets ultimes après stabilisation^[1].

Les voies actuelles de valorisation des granulats recyclés sont des applications qui n'exigent pas de performances très élevées, telles que les blocs préfabriqués de construction, le béton de fondation, le béton de propreté. Ces granulats sont également réutilisés comme fond de forme dans les constructions routières, comme remblai et comme fond de tranchée ou drainage de plate-forme.

Plusieurs recherches à travers le monde ont permis de poser le problème de la faisabilité des bétons à base de granulats recyclés les résultats obtenus à cet effet sont encourageants, cependant la substitution partielle ou totale des granulats naturels par des granulats recyclés conduit à des bétons présentant des performances inférieures à celles des bétons classiques.

La condition fondamentale pour la valorisation de ces granulats est qu'ils remplissent la fonction requise dans la position qu'ils occupent et qu'ils continuent à remplir celle-ci durant toute l'existence de la construction sans manifester d'effets secondaires négatifs qui conduisent à des désordres dans l'ouvrage.

Notre mémoire à pour premier objectif de caractériser les différents agrégats recyclés disponibles provenant de la démolition (débris de béton et les résidus du béton). Ces matériaux récupérés sont principalement du béton de ciment recyclés et de déchets broyage de Louss sous forme de sable (comme des ajouts), peuvent être mélangés totalement ou partiellement avec des sables recyclés pour ressortir un mélange sableux (sable idéal) répond au condition de résistance mécanique et propriété physique.

Pour bien cerner le sujet et arriver aux objectifs fixés. Nous avons donc mené un plan de travail qui se compose des chapitres suivants :

➤ Une introduction générale qui fait définir la problématique du sujet ainsi que les

objectifs visés et un plan de travail.

➤ Dans le premier chapitre, nous présentons une synthèse bibliographique détaillée

composée de deux parties :

- Partie A: sur les déchets, la politique et l'utilisation de ces produits dans le génie civil ainsi que l'intérêt et l'activité de recyclage des matériaux de construction et de démolition sont présentes L'aspect normatif du recyclage et la situation en Algérie sont également soulignés.
- Partie B : présente les propriétés et l'utilisation des granulats recyclés dans les bétons, une banque de données sur les études antérieures nous a permis de faire une confrontation de résultats.

➤ Le deuxième chapitre résume les caractérisations des différents matériaux et procédures utilisés dans le cadre du programme expérimental, les modalités d'essais sont également présentées. dans ce chapitre, les propriétés des granulats recyclés utilisés et leurs caractéristiques spécifiques sont discutées.

➤ Le troisième chapitre est consacré à la formulation de différents types des bétons et méthodes expérimentales des essais effectuées.

➤ Le dernier chapitre est présente les résultats obtenus de l'étude expérimentale et faisant de discussion et des observations sur les différents bétons formules béton témoin composé à 100% des granulats recyclés sans sable louss et des autres résultats des bétons de différents mélanges.

Enfin, notre travaille est achevé par une conclusion générale et de recommandations.

CHAPITRE-I

Synthèse Bibliographique

Partie A: Valorisation Des Déchets, Règlementation Et Environnement

I-1- Introduction:

Dans ce chapitre nous présentons les différents déchets dans l'environnement ainsi que l'activité du recyclage des matériaux de construction à travers le monde et Les caractéristiques des granulats recyclés et les propriétés mécaniques et durabilité du béton à base de granulats recyclés sont discutées.

I-2- Définition De Déchet:

L'article de la loi algérienne N° 01-19 du 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets définit les déchets comme étant :

(tout résidu de production, de transformation ou de d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer).

Les techniciens peuvent donc dire qu'un déchet est un matériau qui n'est pas à sa bonne place, les économistes, c'est un objet qui n'a pas de valeur, tandis que les juristes affirment qu' un bien ne peut devenir déchet que si son propriétaire veut s'en débarrasser.

Dans ces dernières années, le déchet tend à devenir un produit de valeur, une matière première qui entre progressivement dans un cycle de récupération et de recyclage [1].

I-3- Classification Des Déchets:

On classifie les déchets par leur nature en plusieurs catégories :

I-3-1- Déchets Solides Urbains:

Le terme déchet solide peut se référer au déchet municipal qui contient sept type résidentiel (ménager ou déchets domestiques), commercial, institutionnel, déchets de nettoyage des voies publiques , déchets de construction et de démolition, déchets hospitaliers, déchets industriels de l'activité domestique des ménages ainsi que les déchets provenant des industries, artisans, commerçants, écoles, services public, hôpitaux.

I-3-2- Déchets Ménagers Et Assimiles:

Les déchets ménagers et assimilés (DMA) englobe les ordures ménagères (OM) qui sont issues collectées dans les mêmes conditions que les (OM).

I-3-3- Déchets Agricoles:

Déchets agricole désigne un déchet qui provient de l'agriculture, de la sylviculture et de l'élevage, constitue de déchets organiques (résidus de récolte, déjections animales) et de déchets dangereux (produits phytosanitaires non utilisés, emballage vides ayant contenus des produits phytosanitaires).

I-3-4- Déchets Industriels Banals (DIB) Ou Déchets Non Dangereux:

Ils sont issus d'activités commerciales, artisanales, industrielles ou de service, ils regroupent principalement les plastiques, les papiers-cartons, les textiles, le bois non traité, les métaux, les verres et matières organiques, ils peuvent être éliminés avec les ordures ménagères ou dans des installations spécifiques car rien ne contraint les municipalités à accepter de traiter les DIB produits dans la commune, les DIB se définissent comme non inertes et par opposition aux déchets industriels spéciaux : ils ne présentent pas le caractère toxique des DIS.

I-3-5- Déchets Industriels Spéciaux:

Ils regroupent les déchets dangereux autres que les déchets dangereux des ménages et les déchets d'activité de soins à risque infectieux, Les substances présentent l'une des propriétés de danger.

I-3-6- Déchets Hospitaliers:

Ce sont des déchets spécifiques des activités de diagnostic, de suivi et de traitement préventif, curatif ou palliatif, dans les domaines de la médecine humaine et vétérinaire, ainsi que des activités de recherches et d'enseignement associées, de production industrielle et de thanatopraxie.

I-3-7- Déchets inertes:

Les déchets inertes ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante, Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matériaux avec

lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptibles nuire à la santé humaine.

I-4- La Gestion Des Déchets:

Les déchets doivent être gérés dans les conditions nécessaires pour en limiter les effets négatifs sur l'air, le sol, la flore, la faune, éviter les inconvénients par le bruit et les odeurs et d'une façon générale éviter de porter atteinte à l'environnement et à la santé de l'homme. La gestion des déchets doit être effectuée prioritairement par la voie de la valorisation ou à défaut par la voie de l'élimination.

Dans ce contexte la politique de gestion des déchets s'articule autour de trois axes fondamentaux:

- réduire le flux des déchets à la source.
- accroître la récupération et la valorisation en procédant de différentes manières:
 - ✚ le recyclage qui consiste à refaire le même produit que le produit initial .
 - ✚ la réutilisation qui consiste à fabriquer un autre produit que celui qui a donné naissance au déchet.
 - ✚ le réemploi qui consiste à prolonger la durée de vie d'un produit.
 - ✚ la régénération qui consiste à redonner au déchet les qualités et propriétés du produit initial par un ou plusieurs procédés adaptés
 - ✚ la valorisation énergétique par incinération .
- éliminer et traiter proprement le déchet pour qu'il n'ait plus d'impact négatif sur l'environnement [2].

I-4-1- La Gestion Des Déchets Dans Le Monde:

A- L' Autriche:

En Autriche les résidus des matériaux de construction estimés à 26 millions de tonnes par an représentent 57% du volume total des déchets.

B- La France:

En France les déchets de chantier de bâtiment évalués à 25 millions de tonnes par an.

C- L'Italie:

En Italie la production annuelle des déchets est estimée au environ de 20 million de tonnes. L'expérience italienne en matière de gestion des déchets de démolition et de construction date de 1997.

D- La Norvège:

En Norvège un pays qui exporte des agrégats vers les différents pays d'Europe. le recyclage des agrégats prend bien sa place. la première installation de recyclage des déchets de béton et de briques a vu le jour en 1996-97 à Oslo. A part des impératifs liés à la protection de l'environnement et à la préservation des ressources naturelles.

l'intérêt financier a conduit le pouvoir politique Norvégien à encourager le recyclage par la réalisation de nombreuses applications pilotes marquantes dans le domaine du béton .

E- Cas De La Belgique:

En Belgique il est interdit d'abandonner les déchets ou de les manipuler dans n'importe quelles conditions sans respecter les dispositions l'égales et réglementaires en la matière .la récupération des déchets de construction et de démolition remonte aux années cinquante avec l'apparition de la première installation de recyclage. cette technique c'est développée dans les années septante (70) et quatre- vingt (80) marquée par d'importants projet pilotes et recherches scientifiques et techniques dans le domaine^[3].

F- En Algérie:

Actuellement, il est difficile de donner des chiffres précis sur les quantités des déchets annuellement produits en Algérie. Les structures sont nouvellement créés et les organismes spécialisés en la matière ne sont pas encore opérationnels. Toutefois, d'après une étude récente sur la valorisation des déchets en Algérie établie en 2020 par l'agence national des déchets(AND) montre que depuis le début des années 2000, L'Algérie s'engageée pleinement dans l'amélioration de la qualité de l'environnement et la promotion du cadre de vie du citoyen, Beaucoup d'efforts ont ainsi été déployés pour une gestion intégrée et efficiente des déchets.

Références réglementaires:

Dans ce cadre un important arsenal juridique a été mise en place afin de permettre à l'Algérie de se mettre en conformité avec les engagements internationaux auxquels le pays a souscrit et assurer la prise en charge des questions environnementales dans la perspective d'un développement durable, les grands fondements du droit Environnemental sont consacrés essentiellement dans les textes de lois mentionnés ci-dessous.

Sur le plan législatif et réglementaire, plusieurs lois ont été promulguées:

- Loi N° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Loi N°01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement du territoire dans le cadre du développement durable.
- Loi N°02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
- Loi N°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'Environnement dans le cadre du développement durable.
- Loi N°04-03 du 23 Juin 2004 relative à la protection des zones de montagne dans le cadre du développement durable.
- Loi N°04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
- Loi N°04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable
- Entrée en application de la fiscalité écologique en janvier 2005. Le montant de la taxe est de 24.000DA/tonne de déchets liés aux activités de soin des hôpitaux et cliniques et de 10500DA/tonne de déchets industriels dangereux stockés.

Sur le plan institutionnel, création de plusieurs organismes :

- Le Centre National des Technologies de Production plus Propres (CNTPP).
- L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable.
- L'Agence Nationale des Déchets.
- Le Conservatoire National des Formations à l'environnement.
- Le Centre National de Développement des Ressources Biologiques.
- Le Commissariat National du Littoral.
- Le Centre National des Technologies de Productions plus Propres.
- Le Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable.

l'Algérie étant un grand pays par son superficie elle est classée la 10 ème au monde avec une répartition de population très variée (des densités de population très grande dans le nord et très faible dans le sud) et avec des activités économiques concentrées dans les zones urbaines et les grandes métropoles par conséquent une grande différence dans la production de déchets entre les wilayas du pays .

Les générées sont estimées selon la variation du ratio d'une wilaya à une autre et en fonction du nombre d'habitant à l'échelle nationale ,les quantités des déchets ménagers et assimilés produites sont estimées à 0.80 kg/habitant/ jour. la forte production de DMA est enregistrée dans la wilaya d'Alger avec environ 0.90kg/habitant/jour.

Le rapport établie par AND montre que les wilayas du sud sont celles qui produisent le moins de DMA (moins de 100 milles tonnes /an) car elles ont des populations faibles et peu d'activités économiques . les wilayas du Nord-est du Sahara à l'exemple d'El-Oued, Ghardaïa et Adrar ont une production de DMA qui se situe entre 100.000 et 200.000 tonnes/an. cela est due essentiellement au nombre d'habitants plus élève par rapport aux autres wilayas de cette zone.

les wilayas du Nord Sahara en l'occurrence Biskra, Laghouat et Ouargla ou on note plus d'activités économiques, la production de déchets est beaucoup plus importante. Elle varie entre 200 et 300 milles tonnes/an, bien qu'elle reste dans la moyenne basse du pays.

Les wilayas du Nord du pays à l'exception des wilayas de Tissemsilt et de Saida (avec une production de moins de 150.000 Tonnes de DMA) ont une production plus élevée puisque la population et l' activité économique y sont plus nombreuses. la wilaya d'Alger a plus forte production de déchets avec plus de 1Million Tonnes/ an, car y sont concentrées les activités économiques avec une densité plus grande de la population. Elle est suivie par les wilayas les plus peuplées à savoir Oran, Sétif, Djelfa et Blida qui enregistrent une forte production de DMA (entre 400 et 600 milles tonnes /an). le reste des wilayas du nord ont une production moyenne située entre 200 et 400 milles tonnes /an sauf pour les wilayas de l'extrême Nord-est (ELTaref, Souk Ahras et Guelma) et les wilayas de Ain Temouchent, Tipaza et Sidi Bel Abbes qui ont une faible production de déchets (entre 100 et 200 milles tonnes /an) .

Composition des DMA en 2018/2019:

La composition des DMA en 2018/2019 se présente comme suit

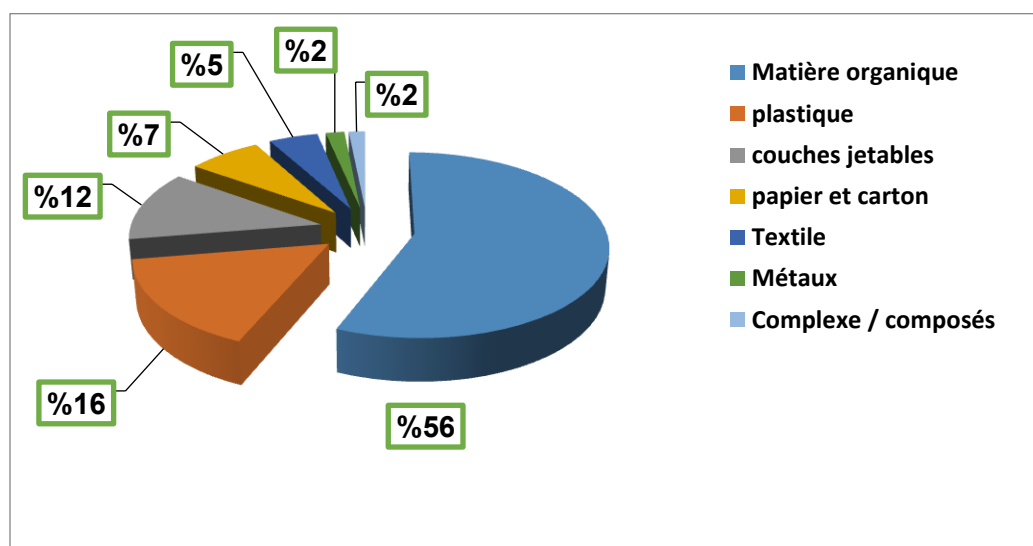


Figure I-01: Composition des DMA en 2018/2019

Les résultats de la campagne montrent que la fraction organique restait la plus prépondérante de DMA, elle représente 53.61% suivi par le plastique qui représente 15.31% et la fraction

papier/carton de 6.76%. Cette campagne a également mis en évidence le problème des couches jetables qui représentent une fraction importante des DMA avec environ 11.76%, ce qui nécessite de mettre en place un mode de traitement spécifique pour ce type de flux.

Au regard des résultats, on constate que la fraction biodégradable représente plus de la moitié des DMA elle présente un potentiel important d'investissement pour le secteur du compostage et de la méthanisation en Algérie.

Pour la fraction plastique, les sacs en plastiques représentent la plus grande fraction avec 8%, ils sont suivis par le PET.PP.PEHD avec des taux respectifs de 3.53%, 2.04% et 0.92% il serait important d'envisager le développement des filières de recyclage.

Le secteur de la valorisation est très peu exploité en Algérie à cause de plusieurs contraintes, auxquels sont confrontés les opérateurs tant sur les plans organisationnel que sur le plan institutionnel, lesquels obstacles freinent la progression de ce secteur et engendrent des pertes considérables sur le plan économique. Selon l'étude réalisée par l'AND, le taux de valorisation calculé en 2020 qui est de l'ordre de 9.83 %, ce taux reste relativement faible par rapport à la production annuelle de 13.5 millions de tonnes (2020) pour faire face à cette situation, la SNGID 2035 a tracé des objectifs stratégiques afin de favoriser le tri à la source de manière à valoriser 30% des DMA et d'évaluer vers une gestion intégrée et durable des déchets. celle-ci doit permettre aux pouvoirs publics, d'assurer la transition vers une économie circulaire, génératrice de richesse et pourvoyeuse d'emplois et d'ouvrir la voie vers une économie verte qui constitue le lien durable entre l'environnement et l'économie durable [1].

l'exemple de la wilaya d'ELoued:

Dans la ville d'ELoued il existe un seul centre d'enfouissement technique reçoit actuellement les déchets ménagers et assimilés DMA de 06 communes réparties comme suit pour l'année 2021 .

Commune	El-oued	Kouinine	Ourmes	Bayada	Oued Allenda	Mihouansa
quantité de déchets T /an	40438.36	2872.80	1141.36	6122.62	1756.22	1196.32

Tableau I-01: quantité des déchets par commune

Pour le recyclage des déchets, le plastique reste le seul produit recyclé, qui présente une quantité de 439.2 tonnes /an.

Ils ont créé aussi un centre d'enfouissement pour les déchets inertes situe dans la ville d'ELoued qui peut recevoir les déchets tel que: béton, pierres, céramiques, briques,...etc. mais depuis de son création en 2019 il n'est pas fonctionnel^[4].

I-5- Traitement et valorisation des déchets:

On a longtemps considère les déchets comme des matériaux qui ne servent plus et qu'il faut getter. Il existe quatre façons de se débarrasser des déchets : les jeter, les enterrer, les bruler, ou les composter.

I-5-1- Le traitement des déchets:

Le traitement d'un déchet est de permettre soit d'être valorise: cas de tous les tris, récupération, transformations qui permettent de trouver une utilisation, soit d'être rejeté dans le milieu extérieur dans de conditions acceptables.

I-5-2- La valorisation des déchets:

Par définition, la valorisation des déchets englobe toutes les opérations de réutilisation, de recyclage ou de compostage des déchets. la valorisation des déchets est considérée comme un facteur essentiel pour le développement durable pour des raisons environnementales et économiques. La réduction de déchets stockés en décharge et l'optimisation des ressources en particulier, la matière première réduisent l'impact sur l'environnement.

la valorisation participe à la croissance économique en créant de nouveaux emplois et en générant un gain financier considérable. le tableau suivant présente une comparaison des méthodes de traitement et de valorisation des déchets :

Etats	Recyclage	Incinération	Décharge stockage
France	12%	40%	48%
Allemagne	18%	34%	48%
Suède	23%	40%	37%
Norvège	13%	18%	69%
Danemark	20%	60%	20%
Pays- Bas	43%	26%	31%
Canada	30%	4%	66%
Belgique	35%	29%-31%	36%-58%
Etats Unis	24%	15%	61%
Japon	11%	74%	15%
Italie	9%	6%	85%
Suisse	39%	47%	14%
Autriche	12%	12%	55%
Espagne	13%	4%	83%

Tableau I-02: comparaison de traitement des déchets

I-5-2-1- Traitement par élimination:

selon l'Adema in furie et al 98% des ordures sont collectées et traitées de la façon suivante:

Mise en décharge	51%
Incinération avec récupération d' énergie	27%
Incinération sans récupération d' énergie	11 %
Tri compostage	7%
Recyclage matière	4%

Tableau I-03: Méthodes de traitement des ordures ménagères

I-5-2-2- La mise en décharge:

Les décharge à ciel ouvert ont été remplacées par les décharges contrôlées, encore appelées centres d'enfouissement technique C.E.T . La mise en décharge contrôlée des déchets urbains est une méthode de gestion des déchets dans toutes les situations concernant d'important tonnages car elle est choisie par sa facilité et son faible cout.

Les C.E.T diffèrent des décharges à ciel ouvert car les déchets sont compactes dans un trou et recouverts d'une fine couche de terre chaque jour .

Selon FAURIE et al. on distingue 3 types de décharges ou de centres d'enfouissement technique (CET):

- les CET de classe 1 ou centres de stockage pour résidus ultimes sont capables d'accueillir les déchets les plus toxiques tels que mâchefers, poussières d'épuration des usines d'incinération, déchets industriels spéciaux.
- Les CET de classe 2, un peu moins étanches que les précédents, sont habilités à recevoir les ordures ménagères et assimilés .
- Les CET de classe 3 ne peuvent accueillir que les déchets, gravats et mâchefers non toxiques .

I-5-2-3- L'Incinération:

C'est la technique choisie par de nombreux syndicats intercommunaux en raison d'avantages majeurs. L'usine d'incinération occupe moins d'espace que la décharge et celle permet la valorisation des ordures, en produisant de la chaleur, transformée en eau chaude alimentant le réseau de chauffage urbain ou en électricité.

Elle a deux effets positifs, d'une part, la quantité de déchets est réduite de 90%, les cendres et les mâchefers sont, bien sûr, beaucoup plus compacts que les déchets avant incinération. Et d'autre part, l'incinération permet de valoriser la chaleur produite en chauffage et en électricité.

En 2005 les Etats-Unis comptaient 88 usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM) qui traitaient et valorisaient environ 14%des déchets du pays .

IL est préférable de retirer certains matériaux des déchets avant leur incinération. Le verre ne brule pas et lorsqu'il fond, il est difficile à retirer des fours. Bien que les déchets alimentaires brûlent, leur teneur élevée en eau fait souvent baisser le rendement des UIOM. IL vaut mieux les retirer. Il est nécessaire de retirer les piles, les thermostats et les lampes fluorescentes. le papier, les plastiques et le caoutchouc sont les meilleurs combustibles.

I-5-2-4- La réduction à la source:

C'est une technique de gestion des déchets selon laquelle les produits sont conçus et fabriqués pour diminuer le volume des déchets solides et la quantité de déchets dangereux dans le flux des déchets solides.

Elle peut être réalisée de plusieurs manières, en employant par exemple des matières premières qui génèrent moins de déchets lors du processus de fabrication en réutilisant ou en recyclant les déchets dans les usines où ils sont produits.

Les piles, par exemple, contiennent beaucoup moins de mercure aujourd'hui qu'au début des années 1980. Les poids des canettes en aluminium a été réduit de 35% depuis les années 1970.

I-5-3- Traitement pour la valorisation:

IL est possible de valoriser, c'est-à-dire récupérer et de réutiliser de nombreux matériaux que l'on trouve dans les déchets pour fabriquer de nouveaux produits du même type ou de type différent.

IL permet des économies de matières première et d'énergie tout en diminuant les frais de traitement des déchets.

I-5-3-1- Recyclage du papier-carton:

IL s'représentent 30% des ordures ménagères et sont très facilement recyclables, pourtant la France ne réutilise que 0.5 Mt/an.

Les Etats-Unis recyclent actuellement environ 50% de leurs papiers et cartons, le Danemark recycle 97% de ses papiers-carton.

En Algérie les quantités de papier /carton triées et pressées sont transformées en produits finis (palettes pour œufs ,serviettes, en papier) en passant par un circuit de transformation à une capacité de l'ordre de 108396 tonnes /an.

I-5-3-2- Recyclage du verre:

C'est le meilleur exemple de recyclage de matériaux. avec 1.3Mt/an, la France est le second pays d' Europe en quantité de verre recycle, mais elle n'est que huitième en pourcentage par rapport à sa consommation, le verre constitue 10% de déchets ménagers. IL coute moins cher de recycler le verre que de le fabriquer à partir de matériaux neufs.

En Algérie les verres récupères sont alors lavés et broyés, puis transformés en produits finis (supports pour les pieds de table, articles pour la décoration, etc). ces derniers sont vendus aux artisans et petits commerces .

la quantité annuelle valorise environ 41724 tonnes/an.

I-5-3-3- Recyclage d'aluminium:

Le recyclage de l'aluminium est une des grandes réussites du recyclage aux Etats-Unis. Pour fabriquer une nouvelle canette en aluminium à partir d'une canette recyclée, il ne faut qu'une fraction de l'énergie qu'il faudrait pour en fabriquer une nouvelle à partir du métal brut .

I-5-3-4 Recyclage des métaux:

Ils représentent un potentiel de recyclage satisfaisant, mais nécessitent un tri préalable. les métaux recyclables sont le plomb, l'or, le fer, l'acier, l'argent et le zinc. L'aspect économique influe beaucoup sur le fait que le métal soit recycle ou jeté. On recycle beaucoup plus les métaux lorsque le prix des minerais est plus élève que le prix des métaux recycles. Ainsi, bien que les réserves de déchets métalliques soient assez constantes, la quantité du recyclage varie d'une année à l'autre.

En Algérie la filière de valorisation des métaux ferreux et non ferreux est alimentée par des déchets d'origines variées. la récupération se fait au niveau des industries mais aussi, au niveau installations de traitement et des petits commerces. Les métaux tries sont alors transformés en lingots, en passant par un four à haut température. la quantité annuelle.

valorise est de 628915 tonnes /an pour les métaux ferreux et 66.392 tonnes /an pour les métaux non ferreux.

I-5-3-5- Recyclage du plastique:

Le recyclage du plastique présente de nombreuses difficultés, en dépit des efforts accomplis par les industriels. Ces matières peuvent paraître semblables, mais il en existe en fait plus d'un millier de types qui réclament des traitements très différents. aussi seulement 2 à 3% soit 0.23 Mt/an sont réutilisés, 133000t sont valorisés en énergie, 7000 t effectivement recyclés.

En Algérie la quantité valorisée en matière de plastique est de l'ordre 304321 tonnes / an.

I-5-3-6- Recyclage des pneus:

Bien qu'environ 290 millions de pneus soient jetés chaque année aux Etats-Unis, peu de produits sont fabriqués à partir de pneus usés. Ils peuvent être rechapés, utilisés dans les équipements des aires de jeu, les poubelles, les tuyaux d'arrosage, l'asphalte caoutchouté pour les trottoirs et autres produits .

I-5-3-7- Le traitement biologique:

La matière organique présente la propriété d'être une substance biodégradable, c'est-à-dire qu'une action bactérienne, naturelle ou induite, la décompose assez rapidement en molécules simples utilisables par les plantes. cette dégradation peut se dérouler en milieu aérobie(présence

d'oxygène) ou anaérobie (absence d'oxygène), la mise à disposition d'air lors de cette dégradation induit une réaction de fermentation aérobie: c'est le principe du compostage^[2].

Partie B: Granulats Recyclés Et Bétons

I-6- valorisation des déchets dans le génie civil:

Le recyclage n'est un luxe ou une mode mais une nécessité qui provient d'une constatation fort simple, nous vivons dans un monde limité.

S'il n'est pas possible de supprimer la production de déchets sous-produits ou résidus industriels ou urbains, il convient alors de définir les meilleures conditions de valorisation.

Presque toutes les activités industrielles portant atteinte aux ressources naturelles et dégradant l'environnement, le recyclage et la valorisation des déchets est un devoir autant qu'une nécessité.

En effet pour des raisons économiques réglementaires, commerciales et environnementales, la valorisation des déchets (industriels municipaux et de l'industrie de construction) dans le béton est en cours de développement ces dernières années dans plusieurs pays développés.

Le recyclage, la réutilisation ou la valorisation sont des comportements qui visent à minimiser l'énergie utilisée à tirer un parti maximum des matériaux et réduire les risques de pollution au moment de la fabrication de l'utilisation ou de l'élimination de ces matériaux. Cela signifie que l'on cherche à retarder le plus possible le moment où un objet devient un déchet.

Dans ce titre on va discuter de deux matériaux, les granulats recyclés et les pierres dit louss qui font l'objet de notre recherche.

I-6-1- Les granulats recyclés:

L'emploi des granulats recyclés en technique routière ou dans les béton est devenu une préoccupation internationale comme le démontre la collecte des textes réglementaires normatifs et autres guides.

Les Pays-Bas, l'Allemagne, l'Autriche, le Royaume-Uni, le Japon, les Etats-Unis ou bien encore le Québec comptent parmi les pays les plus expérimentés.

Les documents normatifs portent principalement sur les spécifications des granulats recyclés qu'il s'agisse des sables ou des gravillons. Les guides décrivent davantage la valorisation et la gestion des granulats recyclés .

IL faut aussi distinguer ce qui concerne :

- Les granulats recyclés, composition exigences, essais de caractérisation contrôle qualité.
- Les bétons incorporant ces granulats recyclés, types de bétons (structurels ou non classe d'environnement) quantités autorisées classes de résistance.
- L'ajustement des paramètres du calcul de dimensionnement dans certains cas. Les exigences concernant les granulats recyclés sont relativement universelles même si des spécificités locales peuvent exister, il s'agit de la masse volumique de l'absorption d' eau, des chlorures solubles, des sulfates solubles, de la résistance au gel-dégel, de la compatibilité avec l'environnement (impact sur sols et eaux) des impuretés. comparativement aux granulats naturels les fréquences de contrôles pour les granulats recyclés sont souvent accrues. L'utilisation des granulats recyclés n'est pas autorisée dans les bétons précontraints sauf en suisse et en Norvège.

Ainsi quels que soient les pays un certain nombre de préoccupations communes apparaissent :

- Le taux d'incorporation dans les bétons est d'autant plus important que les granulats recyclés sont de bonne qualité.
- Les exigences en matière de contrôle qualité sont plus élevées sur les granulats recyclés que sur les granulats naturels .
- Le taux d'incorporation diminue avec la classe de résistance du béton.
- Les gravillons recyclés sont davantage utilisés que les sables recyclés.
- L'utilisation des granulats recyclés est principalement limitée aux bétons soumis aux environnements les moins sévères.
- Il est quelque fois nécessaire de vérifier l'impact des granulats recyclés sur l'environnement.
- L' ajustement des paramètres de codes de calcul s'effectue le cas échéant via un coefficient de pondération [5].

I-6-1-1-Définition et caractéristiques générales des granulats recyclés:

Le granulat recyclé est un matériau provenant du recyclage de débris de démolition, qui est le résultat du concassage du béton d'anciennes structures civiles. Le granulat recyclé est formé à partir du granulat d'origine et d'une couche de mortier résiduel qui est autour du granulat d'origine. L'interaction entre ces deux phases joue un rôle très important dans la qualité du béton formé à partir de granulats recyclés [Boulay, 2014; Etxeberria et al., 2007].

La Figure 1 montre la configuration générale d'un granulat recyclé [Boulay, 2014; Vivian W.Y. Tam et al.,2005].

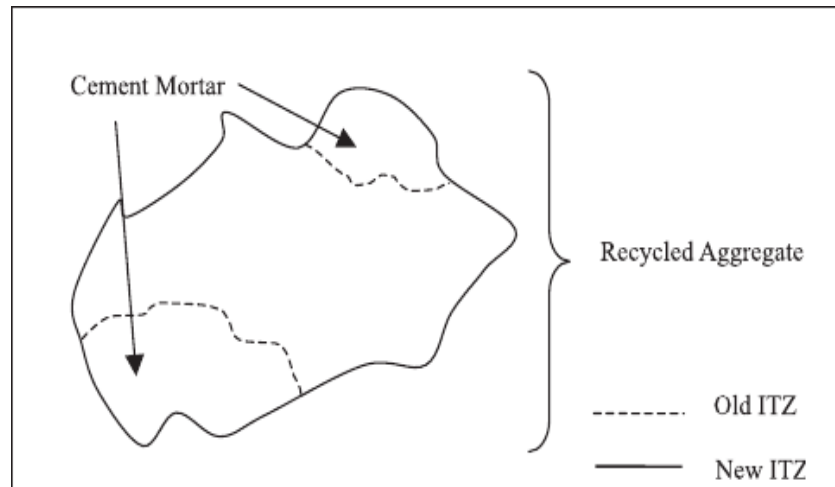


Figure I-02: configuration générale d'un granulat recyclé

L'utilisation des granulats recyclés devient un sujet très important à prendre en compte pour les projets de construction futurs, dans lesquels les aspects environnementaux vont jouer un rôle important. Dans une enquête réalisée aux États Unis [AASHTO-Iowa, 2011] sur l'usage des granulats recyclés pour les pavages, 33% des états ont montré de l'intérêt à utiliser de manière fréquente des granulats recyclés dans le béton. D'autre part, 41% des états consultés ont déjà de l'expérience avec l'usage de ces granulats dans des projets spécifiques. Ils ont rapporté que les principaux problèmes auxquels ils ont fait face sont le manque de pratique pour l'usage de ce matériau, des problèmes de retrait, une absorption élevée en eau, une fluctuation dans la demande d'eau et la consistance du mélange quand la partie des fins est ajoutée. Le facteur très positif qui découle de l'utilisation de ces granulats est l'obtention d'économies importantes d'investissement avec ces matériaux. Par ailleurs, dans les états consultés, 79% ne croient pas que les résistances mécaniques requises pour le béton limitent l'usage des granulats recyclés. alors que 25% croient

que l'obtention de crédits environnementaux ou la réduction d'impôts peuvent stimuler l'usage des granulats recyclés dans l'industrie de la construction. Ces résultats prouvent le besoin de faire plus de recherche à ce sujet en Amérique du Nord.

I-6-1-2- Propriétés du granulat recyclé:

Sur la base de la littérature consultée et de l'information disponible qui a été recueillie, les variables les plus importantes qui influencent en grande partie le comportement du béton recyclé, sont présentées dans les sections suivantes.

I-6-1-2-1-Densités des granulats:

Plusieurs recherches reportent une diminution de la densité des granulats recyclés par rapport au granulat conventionnel, ce qui a un effet direct sur la densité du béton contenant ce type de granulats. La diminution de la densité est attribuable au mortier résiduel attaché au granulat d'origine [César Medina et al., 2014; González-Fontebao et al., 2008]. Les résultats montrent que les granulats recyclés sont moins denses que les gros granulats naturels de 4,67% pour le granulat recyclé sans particules de faible densité (par exemple bois) et de 3,87% pour les granulats recyclés avec particules de faible densité [César Medina et al., 2014].

La densité relative des granulats recyclés est généralement dans la plage de 2,4 à 2,5 (2400 à 2500 kg/m³) tandis que les granulats naturels ont une densité d'environ 2,75 (2750 kg/m³) [Boulay, 2014]. L'analyse de 19 différents types de granulats recyclés, montrent une plage de densité de 2,22 à 2,58 pour ce type de matériau [Agrela et al, 2011].

I-6-1-2-2- Absorption:

Dans toutes les études consultées, l'absorption des granulats recyclés est beaucoup plus grande que celle des granulats naturels. Les valeurs d'absorption des granulats recyclés sont comprises entre 3% et 10%, alors que pour le granulat naturel cette propriété est entre 1% et 5% [Boulay, 2014; Vivian W Y Tam et al., 2008]. Les granulats recyclés avec ou sans particules de faible densité (par exemple bois) ont une absorption avec 1,63 et 1,68 fois plus d'eau que pour le granulat naturel, en raison de la porosité élevée du mortier résiduel [César Medina et al., 2014; Etxeberria et al., 2007]. [Agrela et al., 2011] ont rapporté des valeurs d'absorption dans la gamme de 2,10 % à 8,79% pour différents types de granulats recyclés.

I -6-1-2-3-Perte de masse:

En général, en raison de la configuration du granulat recyclé, la perte de masse due à l'abrasion est plus grande pour celui-ci par rapport au granulat naturel. [César Medina et al., 2014] ont également montré que les granulats naturels ont une plus résistance au concassage que le matériau recyclé mixte (avec ou sans particules en suspension). La perte de masse était de 21,12 et 20,58% inférieure dans le gravier naturel que dans le granulat recyclé avec et sans particules flottantes [Zakaria et al., 1996]. Des valeurs similaires ont été obtenues par [Saravana Kumar et al., 2012] et [Butler et al., 2011] (17,77% et 23,1% pour les granulats recyclés avec et sans particules en suspension). La teneur en mortier résiduel est donc directement liée à la résistance à l'abrasion du granulat [Boulay, 2014; De Juan et al., 2009].

I-6-1-2-4-Granulat recyclé fin:

En termes d'utilisation des granulats recyclés dans la production de nouveau béton, il est établi que seul le remplacement d'une partie des gros granulats ne modifie pas significativement les propriétés du béton. Cependant, il n'y a pas de consensus concernant le remplacement des granulats fins. Le principal facteur mentionné par certains chercheurs contre l'utilisation de la partie fine des granulats recyclés est son absorption d'eau élevée, ce qui peut conduire à un béton avec de moins bonnes performances à l'état frais. Néanmoins, certaines recherches indiquent que l'utilisation de la partie fine des granulats recyclés peut être viable, si la quantité utilisée ne conduit pas à une perte importante de ses propriétés, tant mécaniques [Bravo et al., 2015; Evangelista et al., 2010] que de durabilité [Evangelista et al., 2014]. [Evangelista et al., 2007] ont analysé la résistance à la compression de divers mélanges de béton contenant la partie fine des granulats recyclés et ils ont trouvé des valeurs semblables à celle du béton de référence (60 MPa). Ils justifient ces bons résultats par la présence de ciment non hydraté dans les fines provenant du granulat recyclé, et ils justifient la meilleure adhérence entre la pâte de ciment et le granulat fin recyclé, à cause de sa plus grande porosité [Bravo et al., 2015].

Par contre, [Bravo et al., 2015] ont obtenu une augmentation significative dans le rapport E/L pour les mélanges contenant des fins recyclés. Ces fines particules absorbent une grande quantité d'eau, forçant une augmentation du rapport E/L afin de maintenir l'affaissement approprié [Bravo et al., 2015].

Cette augmentation d'eau cause alors une diminution dans les propriétés mécaniques du béton.

I-6-1-3- Propriétés des granulats recyclés en relation avec le béton:

I-6-1- 3-1- Zone de transition:

En particulier dans le béton de granulat recyclé, il y a plus d'une zone de transition par rapport au béton de granulat naturel. La Figure 3 (gauche) montre une vue en coupe d'un granulat recyclé. Cette figure indique la vieille zone de transition entre le granulat d'origine et le mortier résiduel, ainsi que la zone de transition entre le mortier résiduel et la nouvelle matrice de mortier. Par ailleurs, la Figure 3 (droite) présente aussi la zone de transition pour un granulat naturel conventionnel. La configuration dans ce cas ne dispose que d'une seule zone de transition entre le granulat et le nouveau mortier [Otsuki et al., 2003].

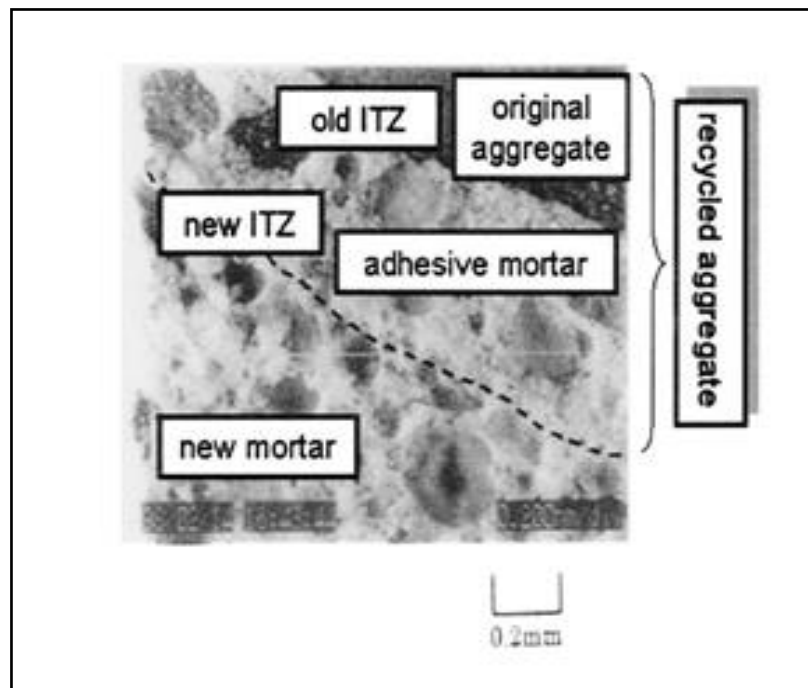


Figure I-03: Vue en coupe du granulat recyclé (gauche) et du granulat naturel (droite)

[Otsuki et al., 2003]

En tenant compte des études consultées, les caractéristiques spécifiques de la zone de transition sont influencées par la qualité de mortier autour de cette zone. Cependant, l'épaisseur (ou quantité) du mortier résiduel ne semble pas avoir une influence déterminante sur les caractéristiques de la zone de transition [Otsuki et al, 2003; Boulay, 2014].

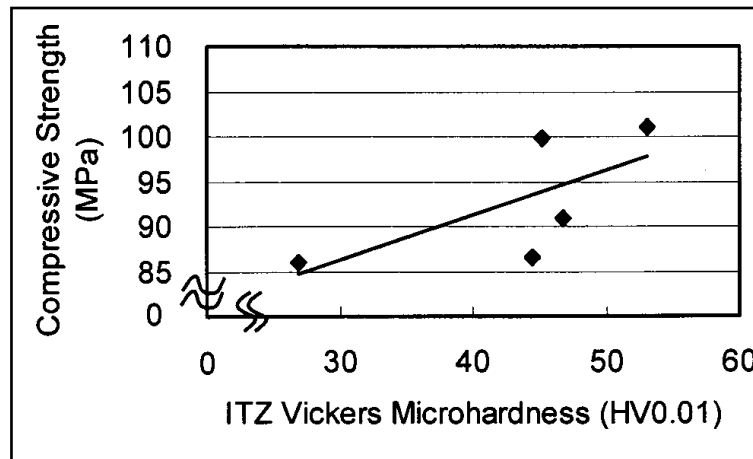


Figure I-04: caractéristiques de la zone de transition

I-6-1-3-2- Pourcentage optimal du granulat recyclé:

Le pourcentage de remplacement optimal du granulat recyclé est celui qui permet de maintenir à un niveau acceptable les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci. Ce pourcentage varie beaucoup dans les études consultées. Cependant, quelques chercheurs proposent une plage de valeurs pour les pourcentages optimaux. D'un côté, [Vivian W Y Tam et al. 2007] mentionnent que les proportions optimales de GR sont d'environ 25 à 40% et 50 à 70%, lors de l'utilisation d'une séquence de malaxage en deux étapes pour la préparation du béton.

En effet, l'utilisation d'une séquence de malaxage spécifique lors de la gâchée permet d'obtenir un pourcentage optimal de granulat recyclé plus élevé, par rapport aux méthodes conventionnelles de malaxage [Vivian W Y Tam et al., 2007]. D'un autre côté, [Boulay, 2014] affirme que, selon plusieurs recherches, cette plage est entre 20 et 50 % de remplacement de granulats naturels par des granulats recyclés [Etxeberria et al., 2007; Chakradhara Rao et al., 2011; Rao et al. 2007; Corinaldesi, 2010].

De plus, dans la plupart des études il est clair que l'augmentation progressive du pourcentage de granulats recyclés diminue de manière progressive les propriétés physiques et mécaniques du béton [Boulay, 2014]_[6].

I-6-2- les pierres de louss:

D'après le livre (le Souf Monographie) écrit par ADRE- ROGER VOISIN cette pierre se trouve généralement dans la Sahara Algérienne, on l'extrait du sol sableux, cette genre de pierre faisait le matériau de construction local et traditionnel dans la région du souf. le louss est utilisé dans la construction à cause de sa solidité, on le rencontre surtout entre les 2 routes EL oued-Ghamra et El oued-Magrane, ainsi qu'à l'est de Z'goum^[7].

I-6-2-1- Mécanisme de formation:

Si nous faisons une coupe le sol, nous rencontrons du Louss, du Tercha et du Tefza. Pulvérulent dans les sahanes, il est forme de fins cristaux qui lui donne un aspect de grés. on le rencontre surtout à l'ouest de la route Behima- Sidi-Aoun.

Louss ou pierre à bâtir, est fait de cristaux de gypse en fer de lance, imbriqués, il se rencontre sous forme de couches continues, très dures, de réseaux mélanges aux sable, de banc isolés, ou de colonnes qui semblent s'être constituées autour d'anciennes racines gypsifères^[8].

première étape: explication simplifiée l'eau que l'on pourrait atteindre en creusant un puits est riche en sulfate de calcium. par capillarité, elle va imbiber le sable, et ainsi monter vers la surface du sol. A cause du soleil, de la chaleur et du vent, l'évaporation est intense en surface, ce qui contribue à entretenir l'ascension de l'eau vers la surface.

Entre la nappe et la surface, il y a donc un niveau où la saturation est atteinte: le gypse commence à cristalliser .

Les cristaux, de forme lenticulaire, sont d'abord de petite taille et au fur et à mesure de l'apport de sulfate de calcium, ils grandissent en englobant un peu du sable dans lequel ils croissent. les cristaux peuvent être enchevêtrés, associés:

C'est la rose des sables. On peut se convaincre de ce qui précède en examinant la cassure d'un "pétale" de rose des sables, c'est à dire d'un monocristal de gypse: on verra, à l'œil nu, les étapes successives de la croissance et à l'aide d'une loupe, les grains de sable englobés par la croissance du cristal. On vérifiera alors que c'est le même sable que celui dans lequel on a recueilli la rose des sables. La couleur de la rose des sables provient de la superposition de la couleur naturelle du gypse, souvent de couleur miel et celle du sable. pour connaître le temps se forme une rose des sables on casse le cristal et compte le nombre de couches de croissance, ainsi qu'on le fait avec les cernes des arbres pour connaître leur âge on saura le nombre d'apports importants de sulfate

de calcium, mais ces apports ne sont pas vraisemblablement pas annuels, loin s'en faut.

Car le niveau de la nappe varie selon son alimentation par les précipitations. et il y a aussi des variations décennales ou séculaires, une tendance à monter ou une tendance à descendre. C'est probablement ce qui explique qu'il y ait plusieurs niveaux. en simplifiant, les plus petites roses des sables sont celles qui ont eu le moins de temps pour grandir. L'observation montre qu'il y a des sites où les roses des sables sont de plus en plus grosses au fur et à mesure que l'on s'enfonce et d'autres sites où c'est l'inverse s'explique alors probablement par une tendance à la montée de la nappe dans le premier cas, à la baisse de la nappe dans le second.

Bien sûr, on a simplifié le phénomène aussi en supposant que, pendant une durée donnée de fonctionnement, la composition de l'eau de la nappe est constante.

C'est sûrement exagéré: elle est plus ou moins concentrée en sulfate de calcium. il peut même arriver, en période de haut niveau de nappe, que l'eau soit très peu concentrée. Dans ce cas, il peut y avoir redissolution du gypse, qui se traduira par des cannelures sur les "pétales" de la rose des sables.

I-7- Béton à base des granulats recyclés:

Ce document présente les résultats obtenus à partir de l'évaluation de différents bétons réalisés avec des granulats recyclés et l'impact de l'inclusion de ce matériau sur les principales propriétés mécaniques et la durabilité de nouveaux bétons.

En raison de problèmes environnementaux liés à la gestion des déchets provenant de différentes industries au cours des dernières années, il devient de plus en plus nécessaire de rechercher des nouvelles techniques permettant l'inclusion de matériaux anciens dans la fabrication de nouveaux éléments, en cherchant à avoir une performance similaire à celle obtenue par le matériau original. Dans le cadre de la réutilisation des matériaux, l'inclusion des déchets de construction dans la conception de nouvelles formulations de béton apparaît comme une alternative prometteuse pour aider à atténuer les problèmes associés aux effets suivants :

- 1- Le recyclage des matériaux de démolition d'anciennes structures civiles.
- 2- La manque des granulats naturels pour béton dans les grands centres urbains.
- 3- L'empreinte écologique associée aux travaux de construction et la production de granulats naturels dans les carrières.
- 4- La possible réduction de coûts de construction liés à la production des bétons avec de

nouvelles matières premières.

- 5- la disposition de résidus et débris provenant de l'industrie de la construction dans sites d'enfouissement.

Bien que l'utilisation de granulats recyclés dans le béton présente plusieurs avantages, il existe actuellement des facteurs techniques qui limitent l'utilisation massive de ce matériau pour l'élaboration de nouveaux bétons.

Des études montrent que la forte porosité et l'absorption du granulat recyclé modifient de manière significative les propriétés du béton. De même, la zone située entre le granulat recyclé et la nouvelle pâte de ciment qui entoure les granulats présente deux zones de transition, ce qui peut modifier de manière significative les propriétés mécaniques et de durabilité du béton obtenu.

L'un de ces endroits est la zone de transition entre l'agrégat naturel d'origine et le mortier résiduel attaché au granulat, qui provient de la structure initiale. Le deuxième endroit est la zone de transition entre le mortier résiduel qui recouvre le granulat naturel et le nouveau mortier qui entoure le granulat recyclé. Ces facteurs signifient que certaines modifications doivent être apportées à la formulation et à l'obtention de nouveaux

bétons, de telle sorte que les effets provoqués par l'inclusion du matériau recyclé dans le mélange puissent être significativement atténués.

I-7-1- Propriétés du béton à l'état frais:

I-7-1-1- Affaissement:

D'une manière générale, la plupart des études rapportent que l'utilisation de granulats recyclés diminue l'affaissement du béton, par rapport au béton avec granulat naturel [Boulay, 2014; Chakradhara Rao et al., 2011; Butler et al., 2011; López-Gayarre et al, 2009]. Dans leur étude, [Bravo et al., 2015] ont rapporté qu'il est nécessaire d'augmenter le rapport effectif E/L alors que la proportion de granulat recyclé augmente. Cependant, cette augmentation n'est pas identique dans toutes les familles de mélanges avec le granulat recyclé. Ils ont conclu que la forme et la composition des différents granulats recyclés influencent la maniabilité des mélanges. Tel qu'indiqué par [De Brito et al., 2010], la forme plus rugueuse du granulat recyclé, par rapport à la forme du granulat naturel, peut contribuer à ce changement de maniabilité [Bravo et al., 2015].

Par contre, [César Medina et al., 2014] ont mesuré une valeur d'affaissement similaire pour un béton avec granulat recyclé, par rapport au béton avec granulat conventionnel. Dans ce cas,

l'absorption plus élevée des granulats recyclés était compensé par la conception initiale du mélange, dans lequel l'humidité initiale et l'absorption ont été pris en considération pour empêcher leurs effets négatifs sur une telle propriété physique importante. Des résultats similaires sont rapportés par [Barbudo et al., 2013] et [Fonseca, et al., 2011]. Ils ont observé que l'utilisation de granulats recyclés dans le béton n'a pas eu d'impact direct sur la maniabilité pour un même rapport E/L.

I-7-1-2-Séquence de malaxage:

La séquence de malaxage a une influence importante sur les propriétés du béton contenant des granulats recyclés. Selon [Boulay, 2014] plusieurs méthodes de malaxage ont été développées pour ce type de béton, en cherchant à compenser l'effet négatif de l'absorption liée au granulats recyclé. Parmi les procédures étudiées, diverses recherches mentionnent la haute efficacité de la méthode de mélange en deux étapes, développée par [Vivian W.Y. Tam et al., 2005].

Dans cette méthode, le processus de malaxage est divisé en deux étapes: l'eau requise est divisée proportionnellement en deux parties qui sont ajoutées (1) après avoir mélangé les fins et gros granulats et (2) après avoir ajouté le ciment. Par contre, l'approche de mélange normale met tous les ingrédients du béton et les mélange sans diviser la quantité d'eau de gâchage [Vivian W Y Tam et al., 2007; Otsuki et al., 2003]. montre la différence de densité dans la zone de transition d'un béton avec la méthode de malaxage en deux étapes (gauche) et la méthode conventionnelle (droite). Cette méthode est conçue pour enrober le granulats recyclés avec le mortier ayant un rapport E/L plus faible que le reste de la matrice. Avec moins d'eau à proximité de l'agrégat, la croissance cristalline est inhibée pendant l'hydratation et, par conséquent, la zone de transition devient plus compacte [Otsuki et al., 2003]. Selon [Otsuki et al., 2003], des améliorations considérables de la résistance à la compression, à la pénétration d'ions chlorure et à la carbonatation dans les bétons de granulats recyclés peuvent être obtenues en utilisant la méthode de malaxage en deux étapes, spécialement pour des rapports E/L élevés.

I-7-1-3- Rapport eau/liant et mûrissement:

Il semble que l'impact négatif du remplacement de granulats naturels par des granulats recyclés augmente quand le rapport E/L diminue [Boulay, 2014; Otsuki et al, 2003; Thomas et al, 2013]. En tenant compte de la recherche de [Otsuki et al., 2003], pour un rapport E/L élevé (0,55), les résultats ne montrent pas une différence importante dans la résistance à la compression du béton

avec granulats recyclés. Ceci peut être dû au fait que la nouvelle zone de transition régit la performance de résistance du béton, en notant que cette zone de transition est plus faible que l'ancienne. D'autre part, lorsque le rapport E/L est faible (0,25) les résistances sont plus faibles par rapport au béton témoin. Dans ce cas, l'ancienne zone de transition régit la résistance à la compression du béton.

Un autre élément trouvé par les chercheurs est l'effet de la forte absorption des granulats recyclés. Avec un rapport E/L important et avec l'utilisation de granulats recyclés sans pré-saturation avant la confection des mélanges, la quantité d'eau disponible peut diminuer à cause de l'absorption, ce qui contribue à compenser l'effet négatif de l'utilisation des granulats recyclés sur la résistance à la compression [Boulay, 2014; López-Gayarre et al., 2009]. Cependant, [Thomas et al., 2013] ont trouvé que cet effet est diminué quand les pourcentages de granulats recyclés sont élevés. En d'autres mots, pour une grande substitution de granulats recyclés, les résistances à la compression ont des différences mineures pour différents rapports E/L.

En tenant compte de l'information recueillie par [Xiao, et al., 2013], les facteurs clés dans la durabilité du béton avec granulat recyclé sont le rapport E/L, le type de mélange et le temps de mûrissement [Koenders, et al., 2014]. Néanmoins, le rapport E/L montre plus de corrélation avec la perméabilité aux ions chlorures, la résistance à l'abrasion, l'absorption et le retrait du béton avec les granulats recyclés [Xiao et al., 2013].

I-7-1-4- Additions cimentaires:

Les ajouts cimentaires sont des sous-produits de différentes industries qui sont utilisés en supplément ou en remplacement partiel du ciment [Boulay, 2014]. Ces additions peuvent améliorer certaines propriétés des bétons [Kosmatka et al., 2011]. [Papadakis, 2000] ont d'ailleurs trouvé que l'utilisation de ces additions, tels que la fumée de silice ou les cendres volantes, comme substituts partiels du ciment Portland ordinaire, ou pour un autre type de ciment mélangé, peut réduire l'absorption d'eau dans les bétons [César Medina et al., 2014]. Cette propriété est très importante dans le cas de bétons avec granulats recyclés^[10].

I-7-1-5- Super plastifiant:

En général, l'utilisation de super plastifiant est très bénéfique pour les propriétés du béton contenant les granulats recyclés. En effet et comme attendu, dans la recherche de [César Medina et al., 2014] les bétons avec granulats recyclés contenant du super plastifiant ont eu 28% plus de

maniabilité que les bétons sans cet adjuvant.

Les résultats ont également montré que les mélanges de béton contenant du super plastifiant absorbent moins d'eau, entre 20% et 14% de moins, par rapport aux bétons sans super plastifiant. Ceci peut être attribué au fait qu'avec faibles rapports E/L les bétons super plastifiés conduisent à une baisse du volume total des pores [Hover,2011], ce qui se traduit en une faible absorption d'eau [Gomes et al., 2009; Kou et al., 2012].

[Pereira, et al., 2012] ont évalué l'influence des super plastifiants sur la résistance à la compression du béton contenant les granulats recyclés fins. Les auteurs ont observé une augmentation de cette résistance pour les mélanges avec super plastifiant (jusqu'à 34,8%). Comme prévu, le gain de résistance a augmenté de la même manière que l'eau du mélange était réduite par l'action du super plastifiant. Les auteurs ont également constaté que le super plastifiant avait une influence plus grande sur la résistance à la compression du béton conventionnel que pour le béton avec granulats recyclés. La perte d'efficacité des additifs est justifiée par l'augmentation de la surface spécifique des granulats, en raison de l'incorporation de granulats/recyclés [Bravo et al., 2015; Barbudo et al., 2013]_[11].

I-7-1-6- Masse volumique:

Diverses études montrent une diminution de la masse volumique du béton à l'état frais avec une augmentation du pourcentage de granulats recyclés utilisés [Agrela et al., 2011; Thomas et al., 2013]. [Bravo et al., 2015] ont montré que la masse volumique du béton à l'état frais diminue à mesure que la quantité de granulat recyclé dans le béton augmente. Selon cette recherche, ceci est justifié par la masse volumique plus faible des particules de granulats recyclés par rapport au granulats naturels. Les chiffres montrent également que cette réduction varie en fonction du type de granulat recyclé spécifique utilisé, car cela dépend de la composition du granulat des différentes usines de production.

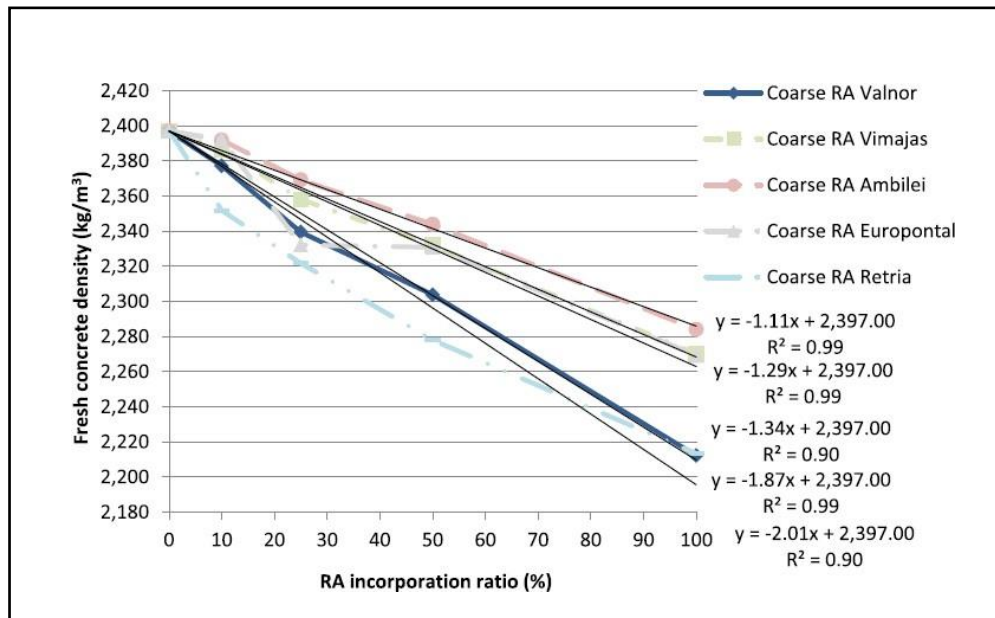


Figure I-05: Masse volumique à l'état frais du béton en fonction de différents pourcentages et types de granulat recyclé [Bravo et al., 2015]

I-7-2- Propriétés du béton à l'état durci:

I-7-2-1- Absorption du béton durci:

Dans le béton contenant des granulats recyclés, il y a une forte croissance de l'absorption de l'eau. Le Tableau 3 présente les résultats d'absorption d'eau obtenus par [César Medina et al., 2014] dans différents types de béton. Les mélanges témoins avec granulat naturel sont ceux marqués avec RC et RCS. Les valeurs d'absorption ont augmenté avec le pourcentage de granulats recyclés mixtes, et plus fortement dans les bétons contenant des granulats recyclés mélangés avec des particules flottantes. Ce comportement a été principalement attribuable aux différences dans l'absorption d'eau de granulats recyclés et granulats naturels [González-Fontebao et al., 2008; Levy et al., 2004; C. Medina et al., 2013].

concrète	Total water absorption	Incérasse %
RC	3.64 ± 0.084	0.00
RCF-25	4.13 ± 0.030	13.39
RCF-50	4.65 ± 0.008	27.63
RC-25	3.94 ± 0.010	8.27
RC-50	4.53 ± 0.086	26.18
RCS	2.91 ± 0.147	0.00
RCFS-50	3.96 ± 0.025	36.19
RCS-50	3.80 ± 0.137	30.82

Tableau I-04: Absorption de l'eau pour bétons contenant les granulats recyclés

[César Medina et al., 2014]

I-7-2-2- Résistance à la compression:

En général, les chercheurs ont trouvé une diminution de la résistance à la compression du béton avec l'augmentation progressive du pourcentage de granulats recyclés. Pourtant, le pourcentage à partir duquel la résistance commence à diminuer de manière significative n'est pas encore clair. Selon diverses études consultées, les valeurs de résistance dépendent de plusieurs facteurs associés à chaque mélange, à chaque type de granulats recyclés et à chaque condition d'essai [Boulay, 2014]. En conséquence, jusqu'à maintenant, il n'est pas possible d'établir un critère d'utilisation général lié seulement au granulats recyclés pour une résistance à la compression précise du béton.

D'un côté, [César Medina et al., 2014] ont rapporté que les résistances de béton à 7 et 28 jours ont diminué avec des pourcentages croissants de remplacement des granulats recyclés. Dans cette recherche, la résistance à la compression à 28 jours était entre 15 et 20% inférieure pour le béton recyclé par rapport au béton de référence. La baisse de résistance dans les bétons recyclés était rapportée par [Mas et al, 2012; Martínez-Lage et al., 2012; Poon et al., 2007; César Medina et al., 2014; Zaharieva et al., 2003] entre autres, avec des pertes de résistance qui varient de 10 à 40%

pour différents remplacements de granulats recyclés.

Selon [Bravo et al., 2015], ces pertes de résistance sont dues aux facteurs suivants: moins de force mécanique apportée par le granulat recyclé, une plus grande absorption d'eau par le granulat recyclé, une augmentation des zones fragiles dans le béton, à savoir la zone de transition.

D'un autre côté, dans l'étude réalisée par [Otsuki et al., 2003], les résistances à la compression du béton recyclé étaient égales à celles du béton de granulat naturel pour les rapports E/L de 0.40, 0.55 et 0.70; tandis que les résistances à la compression de bétons avec granulats recyclés étaient inférieures à celles du béton de granulat naturel pour un rapport E/L de 0.25. Comme mentionné précédemment, cela peut être expliqué par l'influence de la nouvelle zone de transition pour les mélanges de rapport E/L élevés.

[Etxeberria et al., 2007] ont obtenu une perte de résistance à la compression pour le remplacement complet des granulats naturels par des granulats recyclés, mais lorsque seulement 25% des granulats est remplacé, aucun effet significatif sur la résistance à la compression est observé. De plus, [Evangelista et al., 2007] ont analysé la résistance à la compression de divers mélanges de béton contenant les granulats recyclés incluant la portion des fins, et ils ont trouvé des valeurs semblables à celles du béton de référence. Ils justifient ces bons résultats par la présence de particules de ciment non-hydratées dans le granulat recyclé fin et la meilleure liaison entre la pâte de ciment et les particules fines du granulat recyclé, en raison de leur plus grande porosité. Des résultats similaires ont aussi été obtenus par [Gomes et al., 2009]_[12].

I-7-2-3- Résistance à la traction:

De manière similaire à celle de la résistance à la compression, la tendance générale est la diminution de la résistance à la traction du béton avec l'augmentation du pourcentage de remplacement de granulats recyclés [Boulay, 2014]. Les résultats de [César Medina et al., 2014; Mas, et al., 2012; Mas et al., 2012; Otsuki et al, 2003; Bravo et al., 2015] entre autres, confirment ce comportement.

I-7-2-4- Module d'élasticité:

Tant dans les cas de la résistance à la compression que dans le cas de la résistance à la traction, la plupart des études mentionnent une baisse dans le module d'élasticité avec l'augmentation du taux de remplacement des granulats naturels par les granulats recyclés [Boulay, 2014]. [Bravo et al, 2015] ont obtenu des résultats qui appuient cette affirmation. Par ailleurs, selon cette étude, la

composition du granulat recyclé est le facteur qui a le plus d'influence sur le module d'élasticité.

I-7-2-5- Résistance à la flexion:

Contrairement aux trois propriétés mécaniques mentionnées dans les paragraphes précédents, la résistance à la flexion n'est pas affectée significativement par le remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés [Boulay, 2014]. Certains chercheurs ont décelé de légères réductions dans la résistance à la flexion, tandis que d'autres ont plutôt trouvé des améliorations. Ce dernier cas a été obtenu par [Vivian W Y Tam et al., 2007], pour lesquels le pourcentage optimal de remplacement de granulats était entre 29% et 39%. Pour ces valeurs, ils ont obtenu une amélioration de la résistance à la flexion de 21.8%, 21.5%, 7.6% et 12.9% à 7, 14, 28 et 56 jours de durcissement respectivement. En outre, des améliorations dans la résistance à la flexion de 3.6%, 9.4%, 2.2% et 2.4% avec substitutions de granulat recyclé de 60.6%, 60.6%, 69.7% et 67.7% à 7, 14, 28 et 56 jours de durcissement respectivement, ont été enregistrés^[13].

I-7-3- Durabilité du béton avec granulats recyclés:

Une synthèse des principaux résultats recueillis par diverses recherches liées à la durabilité du béton contenant des différents remplacements de granulat naturel par des granulats recyclés est rapportée. Malgré la variation des types de matériaux utilisés, des conditions expérimentales, des normes adaptées et du genre de granulat recyclé testé, certaines caractéristiques générales sont discutées afin de donner une idée globale du comportement de ce matériau en termes de durabilité^[14].

I-7-3-1- Perméabilité aux ions chlorure:

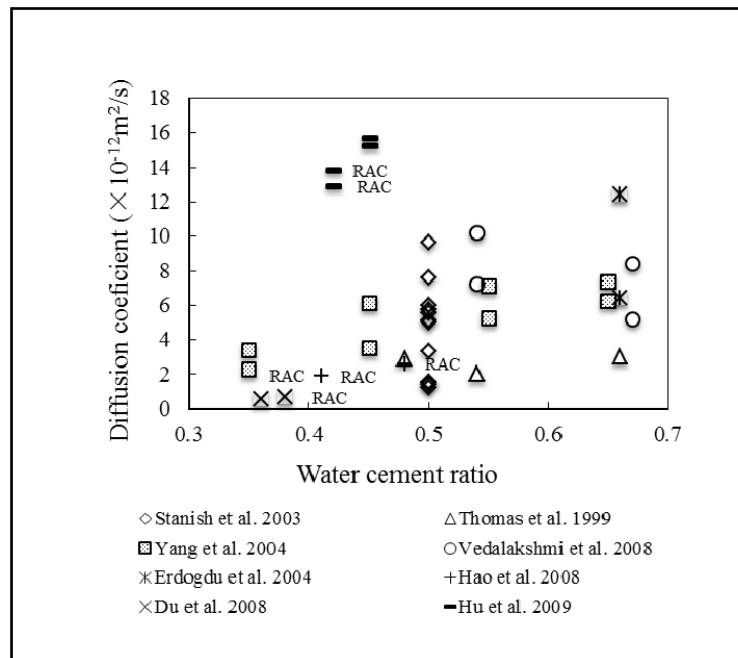


Figure I-06: les coefficients de diffusion de différents bétons

Dans des conditions avec présence de sels, les ions chlorure ne sont pas le seul facteur de risque pour la corrosion de l'acier de renforcement, mais cette caractéristique représente un des plus importants critères pour l'application généralisée et l'acceptation du béton avec les granulats recyclés [Xiao et al., 2013]. Afin de montrer les caractéristiques de diffusion des ions chlorure dans le béton avec granulats recyclés, [Xiao et al., 2013] présente les coefficients de diffusion de différents bétons en montrant l'effet du rapport E/C. Les résultats montrent les bétons avec granulats recyclés (RAC) et les bétons avec granulats naturels pour différentes études (Figure 6).

On peut voir d'après la Figure 5 que la plupart des coefficients de diffusion du béton fait avec le granulat naturel varient dans la gamme de $(1 \text{ à } 10) \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, et que la limite supérieure de la diffusivité de chlorure augmente avec la croissance du rapport E/C. Alors que la plupart des coefficients de diffusion du béton fait avec les granulats recyclés (RAC) varient dans la gamme de $(1 \text{ à } 16) \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$, montrant une plus grande valeur que celle du béton fait avec le granulat naturel. Cela peut être expliqué par l'influence du mortier résiduel et la vieille zone de transition, qui varie dans une gamme plus large que celle du nouveau mortier [Xiao et al., 2013].

Divers résultats révèlent que le remplacement de gros granulats recyclés a une influence remarquable sur la perméabilité aux ions chlorure du béton. La Figure 7 illustre la relation entre la

pénétrabilité des ions chlorure dans les bétons faits avec granulats recyclés et le pourcentage de remplacement de ces granulats. Ceci indique que la pénétrabilité des ions chlorure augmente linéairement avec l'augmentation du pourcentage de remplacement des granulats naturels par les granulats recyclés. La Figure 7 montre également que la pente de la droite varie en raison des différentes conditions expérimentales, notamment les adjuvants minéraux, le rapport E/C, l'âge de durcissement,.. etc. L'utilisation des granulats recyclés peut augmenter légèrement le coefficient de perméabilité et le coefficient de diffusion des ions chlorure. Cependant, les valeurs sont acceptables pour un béton durable [Xiao et al., 2013].

[Evangelista et al., 2010] ont étudié l'effet du remplacement de granulats recyclés fins sur la pénétration des ions chlorures. Dans cette recherche, l'évaluation a été faite sur les mélanges proportionnés avec 30% et 100 % de taux de remplacement des granulats recyclés, en comparant avec le béton témoin. Une augmentation d'environ 12% a été obtenue en termes de coefficient de migration pour le béton de 30% de granulats recyclés, tandis que la valeur a augmenté de 33.8% pour le béton avec 100% de taux de remplacement. La Figure 7 présente les valeurs moyennes de la variation de la perméabilité aux ions chlorure avec le taux de remplacement des granulats naturels par les granulats recyclés, ainsi que l'écart type mesuré pour chacune des compositions du mélange_[15].

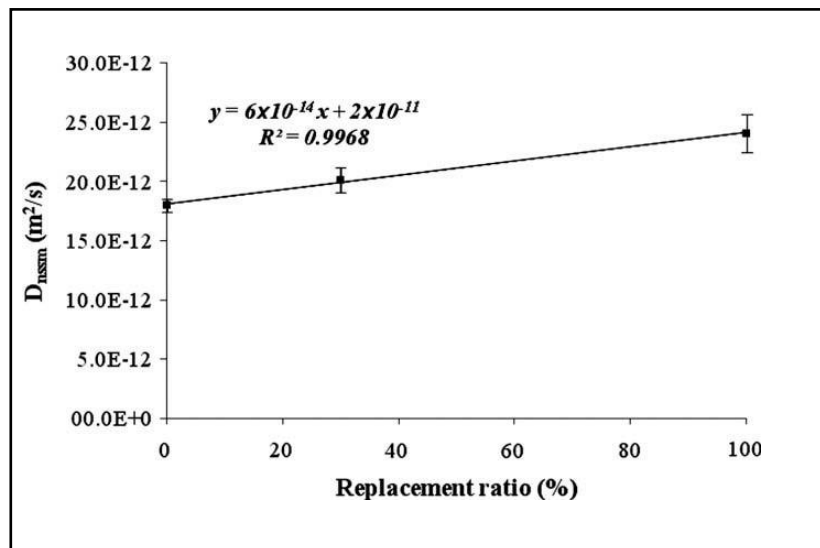


Figure I-07: la variation de la perméabilité avec le taux de remplacement des granulats naturels par les granulats recyclés

Finalement, [Thomas et al., 2013] ont étudié la pénétration de l'eau dans le béton pour des mélanges de différents pourcentages de granulats recyclés. Cette caractéristique physique donne des informations liées à la perméabilité à l'eau de ce matériau et par conséquent, on obtient de l'information indirecte sur la facilité avec laquelle les ions chlorure peuvent rentrer dans la matrice du béton. Dans cette étude, la profondeur de pénétration de l'eau a augmenté avec le rapport E/C et avec la quantité de granulats recyclés utilisée (Figure 8).

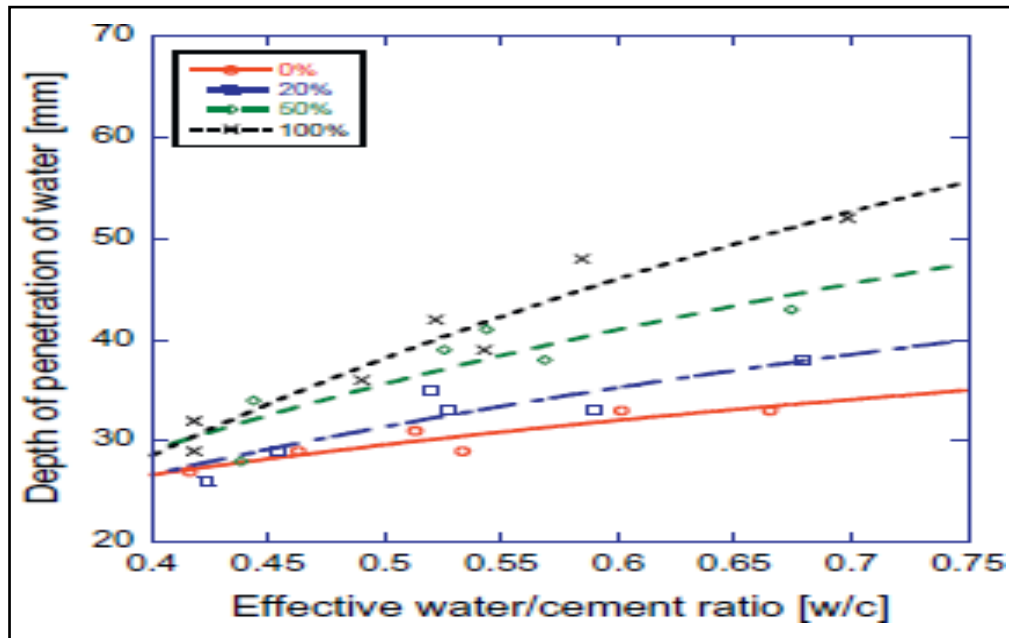


Figure I-08: Profondeur de pénétration de l'eau en fonction du rapport E/C pour différents grades de substitution de granulat recyclé à 365 jours d'âge [Thomas et al., 2013]

I-7-3-2- Résistance aux cycles gel-dégel:

Plusieurs études montrent, par ailleurs, que la résistance aux cycles gel-dégel pour le béton fait avec les granulats recyclés est plus ou moins similaire à celle du béton fait avec les granulats naturels correspondant [Boulay, 2014]. Cependant, d'autres études démontrent que le taux de perte de résistance du béton fait avec les granulats recyclés est supérieur à celui du béton avec les granulats naturels. La raison principale qui explique ce comportement est que le béton recyclé a une résistance au gel-dégel plus faible en raison de son absorption d'eau très élevée [Xiao et al., 2013].

I-7-3-3- Résistance à l'abrasion:

Les résultats de différentes recherches montrent que le pourcentage de remplacement des granulats recyclés a une influence notable sur la résistance à l'abrasion du béton. Malgré la variation de la résistance à l'abrasion d'une étude à l'autre, dans la plupart de cas, il est observé que la perte de masse augmente avec le pourcentage de remplacement des granulats recyclés.

[Matias et al., 2013] ont observé une diminution de l'abrasion pour les mélanges faits avec des gros granulats recyclés. Ils ont justifié ce résultat grâce à une meilleure liaison entre ces granulats et la pâte de ciment. [Evangelista et al., 2007] ont également constaté que l'utilisation des granulats recyclés fins dans le béton tend à améliorer la performance des bétons contre l'usure. Par ailleurs, [Pereira et al., 2012] ont évalué l'influence de l'utilisation de différentes proportions de granulats recyclés contenant des fins sur la résistance à l'abrasion (pourcentages de 0%, 10%, 30%, 50% et 100%). Dans ce cas, l'utilisation de granulats recyclés a provoqué des augmentations de l'épaisseur d'abrasion jusqu'à 21.7%, 39.5% et 51.3%, pour les mélanges sans super plastifiant, avec réducteur d'eau et avec super plastifiant de haute performance [Bravo et al., 2015]_[16].

I-7-3-4- Carbonatation:

La Figure 8 montre la relation entre la profondeur relative de la carbonatation et le pourcentage de remplacement de granulats recyclés à 28 jours, pour différentes études analysées par [Xiao et al., 2013]. Dans ces résultats, la variation est très grande et il ne semble pas y avoir un consensus général de l'influence des pourcentages des granulats recyclés sur la profondeur de carbonatation [Boulay, 2014]. Cependant, dans la plupart des études, il est clair qu'avec l'augmentation du taux de granulats recyclés, il y a une diminution des propriétés associées à la carbonatation du béton. Selon certaines études, la microstructure du béton fait avec les granulats recyclés devient plus complexe et l'interface augmente avec l'inclusion de granulats recyclés dans le béton, ce qui a une influence négative sur la résistance à la carbonatation [Xiao et al., 2013].

L'étude de [Evangelista et al., 2010] a montré des résultats similaires à ceux de [Xiao et al., 2013]. En général, la profondeur de carbonatation augmente avec le taux de remplacement (Figure 9). En tenant compte de la variation de la profondeur de carbonatation avec le pourcentage de remplacement des granulats naturels par des granulats recyclés, il est possible de déduire que la profondeur de carbonatation augmente presque linéairement avec le taux de

remplacement [Evangelista et al., 2010]_[17].

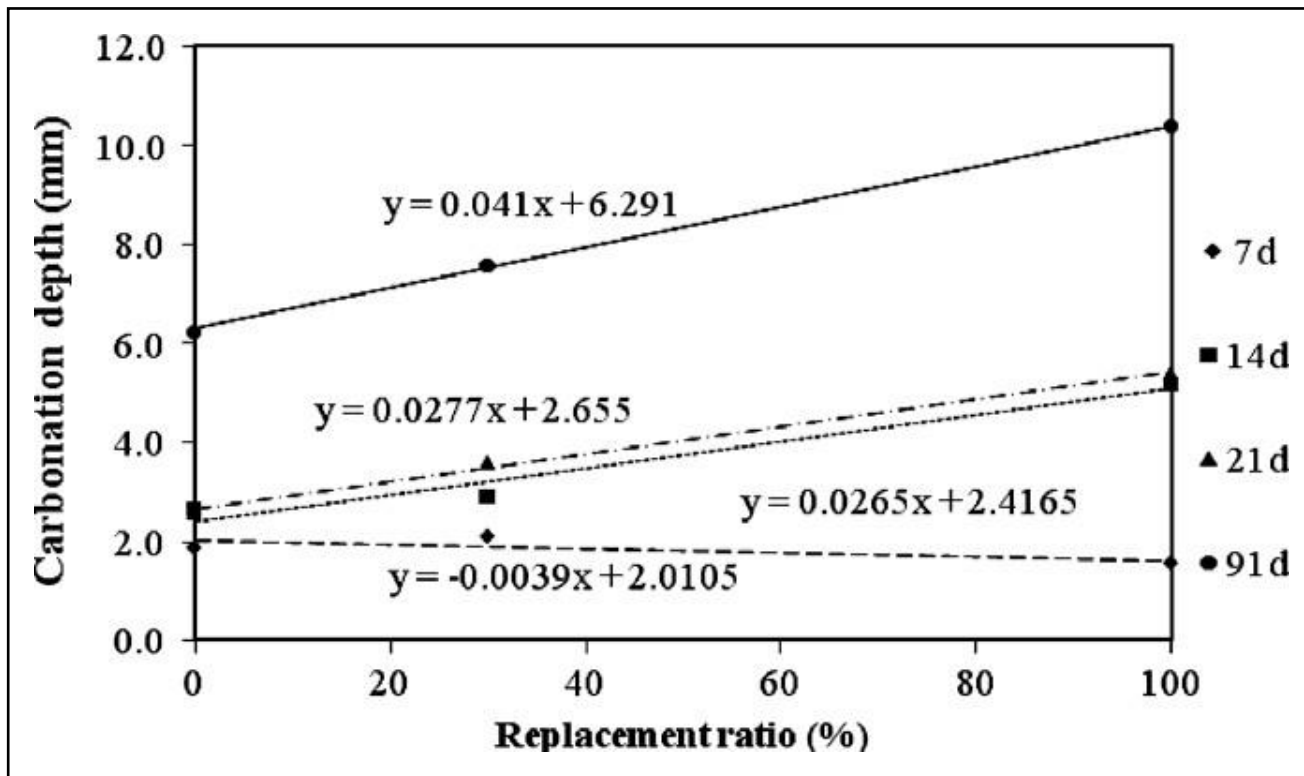


Figure I-09: Variation de la profondeur de carbonatation avec le taux de remplacement de granulats naturels par granulats recyclés [Evangelista et al., 2010]

I-7-3-5- Retrait de séchage:

Le retrait de séchage empêché provoque une augmentation de la contrainte de traction, ce qui peut conduire à la fissuration, à la déformation et à la détérioration du béton fait avec granulats recyclés [Xiao et al., 2013]. Plusieurs études ont été menées pour étudier l'influence du remplacement des granulats recyclés sur le pourcentage du retrait de séchage. Un des facteurs très importants pour l'augmentation du retrait dans ce type de béton est la grande absorption que le granulats recyclés présente [Xiao et al., 2013].

Quoique la plupart des études rapportent une augmentation du retrait de séchage avec l'augmentation du pourcentage de remplacement des granulats recyclés [Xiao et al., 2013; Boulay, 2014], pour des pourcentages de remplacement inférieurs à 20% il ne semble pas y avoir un grand impact sur le retrait de séchage. Les deux causes les plus importantes pour le retrait du séchage dans ce type de béton sont la présence de mortier résiduel et l'eau supplémentaire ajoutée pour compenser la porosité du granulats [Boulay, 2014]_[18].

Conclusion:

Dans ce chapitre nous avons discuté l'importance de la valorisation des déchets et ses reflets sur l'environnement. Dans ce but nous avons présente des statistiques intéressantes à travers les pays développées au monde.

L'utilisation des granulats recyclés dans la fabrication des bétons à une grande importance du point de vue environnement car d'un cote elle permet de récupérer les matériaux résultants de la démolition des constructions due aux catastrophes naturelles ou la démolition du vieux bâtis. de l'autre cote, leurs réutilisations permet de protéger la nature de l'exploitation excessive des ressources des granulats naturels.

En ce concerne des sables de louss nous avons rencontré des difficultés en raison du manque de recherches expérimentales sur les propriétés de ce genre des granulats.

.

CHAPITRE II

CARACTERISATION DES

MATERIAUX

II-1- Introduction:

Le présent chapitre, subséquent l'étude bibliographique, va être destinée à l'exposition des méthodes et approches que nous avons utilisées pour mener notre projet de fin d'étude. Alors on y traitera la caractérisation des matériaux utilisés par l'exécution des différentes méthodes d'essais exploitées, accompagnées avec les références de leurs normes correspondantes.

II-2- Matériaux et procédures expérimentaux:

II-2-1- Identification des matériaux utilisés:

II-2-1-1- Granulats:

II-2-1-1-1- Sables:

Deux types de sables sont utilisés dans cette étude :

➤ **Sable recyclé** : il provient d'un béton des éprouvettes crases du chantier de la trémie de la ville d'El oued.



Photo II-01: sable recyclé



Photo II-02: image de sable recyclé avec MEB

➤ **Sable de louss** : il provient de pierres locaux on dit aussi de rose des sables de la région d'oued Souf.

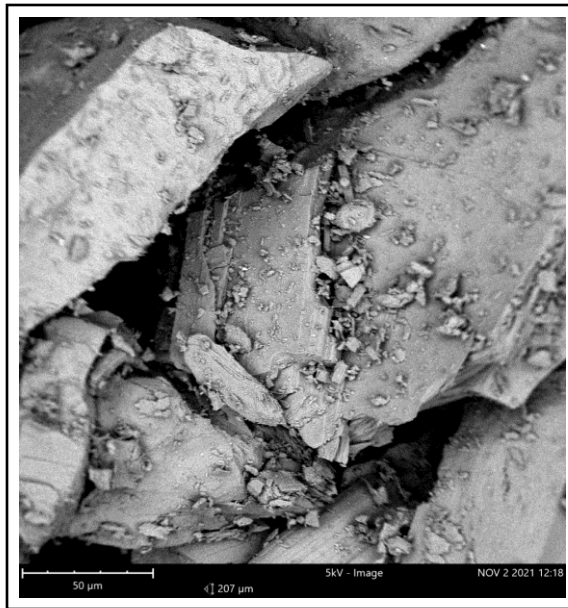


Photo II-03: image de sable de louss avec MEB



Photo II-04: sable de louss

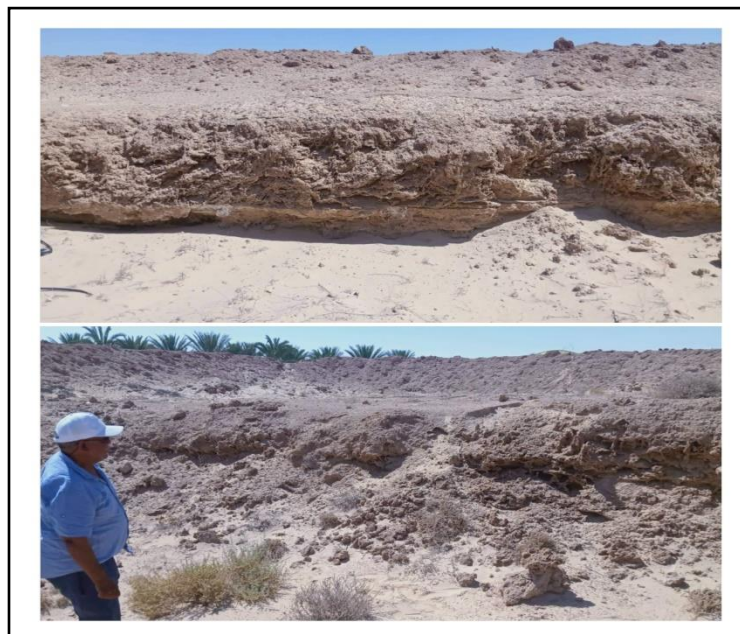


Photo II-05: Zone d'extraction de louss

L'utilisation de deux sables avec des proportions différentes nous permettons d'obtenir un nouveau composant de sable:

- 100% sable recyclé et 0% sable louss
- 0% sable recyclé et 100% sable louss
- 80% sable recyclé et 20% sable louss
- 60% sable recyclé et 40% sable louss
- 20% sable recyclé et 80% sable louss
- 40% sable recyclé et 60% sable louss

II-2-1-1-2- Gravier:

Dans cette étude nous avons utilisé deux fractions de gravier concassés recyclé (3/8)et (8/16), provenant des éprouvettes écrasées du chantier de la trémie d'ELoued.

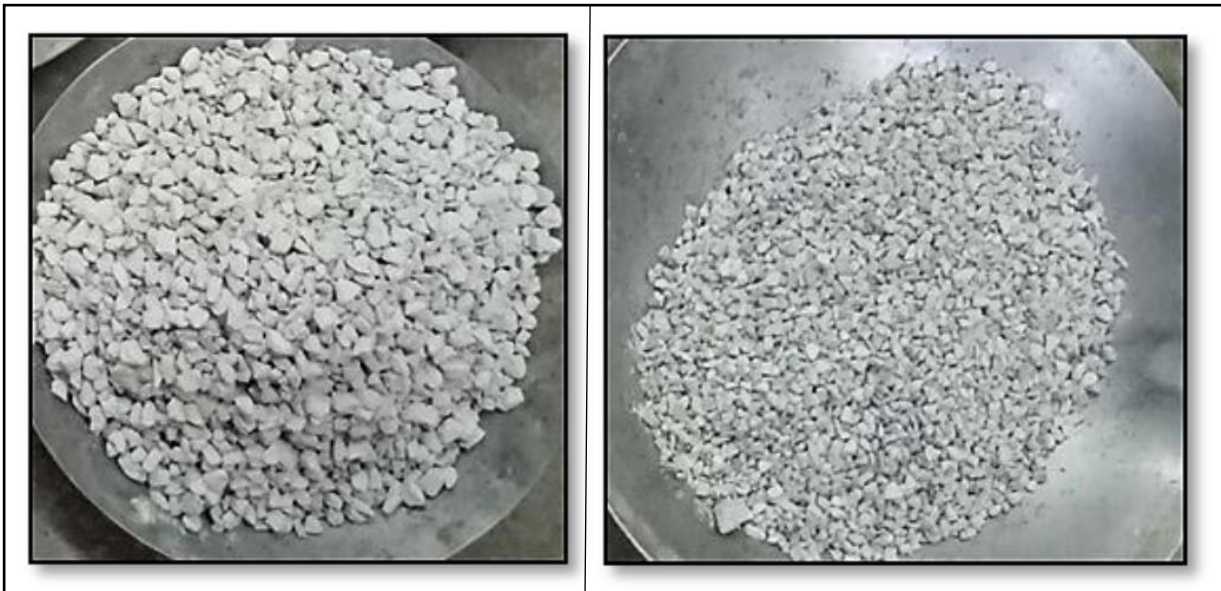


photo II-06: Gravier 8/16.

photo II-07 : Gravier 3/8

II-2-1-2- Ciment NA 442 (NA 442, 05):



photo II-08: Ciment utilisé photo

Un seul type de ciment a été utilisé pour des différentes compositions, un ciment CEM II/B-L classe de résistance 42.5, c'est un ciment portland composé, résultant d'un broyage simultané de clinker (70 à 80 %), de laitier granulé (15 à 25 %) et de gypse (5 %), conforme à la norme algérienne NA 442 (NA 442, 05) et provenant de la cimenterie de LAFARGE.

Les caractéristiques physiques, chimiques et minéralogiques et mécaniques du ciment sont données dans les tableaux suivants: .

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	k ₂ O	MgO	chlorures	PAF	Insoluble
61.90	15.80	4.15	2.31	2.80	0.06	0.69	2.39	0.023	9.59	0.7-2

Tableau II-01: Composition chimique du ciment.

Elément	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaO	Gypse	Pouzzolane
%	58	16	7	12	01	06	-

Tableau II-02: Composition minéralogique du clinker.

Caractéristiques	Résultats	Unités	Norme
Consistance normal	28	%	NF EN196-3
Début de prise	150	Min	NF EN196-3
Fin de prise	188	Min	NF EN196-3
SSB	3750-5250	cm ² /g	NF EN196-6
Expansion	0.3-2.5	g/cm ³	NF EN196-5
Retrait à 28jours	<100	um/mm	NF EN 197-7

Tableau II-03: caractéristiques physiques du ciment

Résistance MPA	1J	2J	7J	28 J
Compression	11.556	19.215	35.429	44.929
	11.444	20.447	35.906	45.057
Flexion	1.902	4.278	5.912	6.876

Tableau II-04: Résistance à la compression et à la flexion pour prisme du ciment (40*40*160)mm

II-2-1-3- Eau de gâchage [NF EN 1008]:

L'eau de gâchage utilisée pour la préparation des différents mélanges est une eau potable de robinet conforme aux caractéristiques des eaux requises pour la confection des bétons précises dans la norme.

II-2-1-4- Adjuvant NF EN 934-2/ NA 774:

Les adjuvants du béton sont des produits chimiques, liquides pour la plupart. Utilisés en solution dans l'eau de gâchage. Incorporés au moment du malaxage du béton à une dose inférieure ou égale à 5% en masse de la teneur en ciment du béton pour modifier les propriétés du mélange à l'état frais et / ou durci.

On utilise dans notre étude un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. le MEDAFLOW145 conforme à la norme produit de graniteux d'Oued Smar son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité il permet aussi d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

ce sont des produits qui viennent se fixer par adsorption à la surface du ciment ils provoquent une défloculation des grains et une lubrification de la pâte. ce processus permet soit une amélioration de la maniabilité sans augmenter le dosage en eau, soit une réduction du rapport E/C, donc une augmentation de résistance mécanique, sans modifier la maniabilité. ils doivent par rapport au béton témoin assurer une résistance à la compression de 110% minimum et permettre une réduction du dosage en eau d'au moins 5%.

on peut également jouer partiellement sur les deux paramètres pour augmenter les résistances mécaniques tout en améliorant la maniabilité.

conclusion:

Dans ce chapitre nous avons identifié tous les matériaux entrant dans la composition des bétons ce qui constitue une étape indispensable avant d'entamer l'étude expérimentale de ces bétons.

II-2-2- procédures expérimentales:

II-2-2-1- L'analyse granulométrique(EN 933-1):

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant l'échantillon .

La classe des granulats pour le sable est définie par tamisage au travers d'une série de tamis dont les mailles ont les dimensions suivantes en mm:

(0.063- 0.08- 0.10- 0.125- 0.16- 0.20- 0.25- 0.315- 0.40- 0.50- 0.63- 0.80- 1- 1.25- 1.60- 2-3.15- 4- 5 - 6.3).

Les tamis dont les dimensions sont soulignées correspondent à la série de base préconisée par la norme NF EN 933-2 , de ce fait, lors de l'étude granulométrique on utilise prioritairement ces tamis.

Pour le gravier , on peut prendre tous les tamis compris entre 4 et 20: généralement on utilise les tamis suivantes : "4-5-6.3-8-10-12.5-16-20" (mm)



photo II-09: tamis d'Analyse granulométrique.

II-2-2-2- Module de finesse du sable(NF EN 12620):

Le caractère plus ou moins fin d'un sable peut être quantifié par le calcul du module de finesse (MF). le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en éléments fins , D'après la norme NFP18-540 , le MF d'un granulat est égal au $1/100^{\text{ème}}$ de la somme des refus cumules, exprimés en % sur les différents tamis de la série suivante: (0.16; 0.315; 0.63; 1.25; 2.5; 5).

Ce paramètre est important pour déterminer les caractéristiques des sables utilisés. dans le béton. Les sables doivent présenter une granulométrie telle que les éléments fins ne soient ni en excès, ni en trop faible proportion .

- Pour $1.8 < MF < 2.2$ le sable est à utiliser si l'on cherche particulièrement la facilité de mise en œuvre au détriment probable de la résistance.
- Pour $2.2 < MF < 2.8$ le sable est à utiliser si l'on cherche une ouvrabilité satisfaisante
- Pour $MF > 3.2$ le sable est grossier.

La correction d'un granulat est nécessaire lorsque sa courbe granulométrique présente une discontinuité ou lorsqu'il y a un manque ou un excès de grains dans une zone de tamis. la correction consiste à compenser ces écarts par un apport d'un autre granulat jusqu'à obtention d'un mélange présentant les qualités recherchées. cette pratique est habituelle pour modifier le module de finesse des sables de béton hydrauliques.

II-2-2-3- Détermination de l'équivalent du sable(NF P 18-597):

Cet essai permet de mettre en évidence la proportion relative de poussière fine nuisible ou d'éléments argileux dans les agrégats fins. pour un béton, ces fines risquent d'inhiber l'hydratation du liant et gênent l'adhérence avec les agrégats .

valeurs préconisées pour l'équivalent de sable par DREUX.

PS	Nature et qualité du sable
<60	sable argileux risque de retrait ou de gonflement , à rejeter pour de béton de qualité
$60 \leq PS < 70$	sable légèrement argileux de propreté admissible pour de béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait .
$70 \leq PS < 80$	sable propre à faible pourcentage de fines argileuses convenant parfaitement pour les bétons de haute qualité
$PS > 80$	sable très propre l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu' il faut rattraper par une augmentation du dosage en eau

Tableau II-05: valeurs de l'équivalent de sable

Pour les bétons, le PS est compris entre 70 et 90.



photo II-10: Essai d'équivalent de sable.

II-2-2-4- Détermination de la masse volumique apparente (EN 1097-3):

C'est le rapport entre la masse de granulat sec (sèche en étuve) et le volume qu'il occupe sans compactage dans un conteneur y compris le volume des vides inter granulaires.



photo II-11: Essai de masse volumique apparente.

II-2-2-5- Détermination de la masse volumique absolue((EN 1097-3):

C'est le rapport entre la masse de l'échantillon sèche en étuve et le volume qu'il occupe dans l'eau, y compris les pores fermes (formant la porosité fermée) mais à l'exclusion de ceux accessibles à l'eau. elle est déterminée aussi par la méthode au pycnomètre.



photo II-12: Masse volumique absolue

II-2-2-6- Teneur en eau (EN 1097-5):

Les granulats utilisés pour la confection du béton contiennent généralement une certaine quantité d'eau variable selon les conditions météorologiques. l'eau de gâchage réellement utilisée est par conséquent égale à la quantité d'eau théorique moins l'eau contenue dans les granulats.

Il faut par conséquent disposer de moyen pour mesurer combien il y a d'eau dans les granulats. On utilise la procédure la plus simple par séchage à l'étuve.

II-2-2-7- Essai au bleu de méthylène (EN 933-9):

L'essai consiste à évaluer la qualité des fines contenues dans les fillers (0/0.125) ou dans la fraction 0/2 d'un sable. le bleu de méthylène est en effet adsorbé préférentiellement par les argiles de type montmorillonites (argiles gonflantes) et par les matières organiques contenues dans les fines, les autres argiles (illites et kaolinites) sont peu sensibles au bleu. L'essai au bleu est un test performant pour qualifier et quantifier de manière simple la propreté des matériaux granulaires (relever la présence de fines argileuse et d' en déterminer la concentration).



Photo II-13: Matériel (essai manuel) au bleu de méthylène

➤ Mode opératoire:

- Tamiser l'échantillon à étudier au tamis 2 mm.
- Verser un échantillon de 30 gr de sol sec dans le Bécher et ajouter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Agiter sans arrêt le mélange à l'aide de l'agitateur à ailettes.
- Ajouter 5 cm³ de bleu de méthylène dans le Bécher.

- Prélever une goutte de mélange et la placer sur papier filtre.
- Si la tache centrale est entourée d'une auréole bleu turquoise, le test est positif. Dans ce cas l'essai est terminé, les particules argileuses sont alors saturées en Bleu de Méthylène. On recommence l'essai à l'identique, cinq fois à intervalle d'une minute pour le confirmer.
- Si la tâche est entourée d'une auréole humide incolore, le test est négatif. Dans ce cas, on ajoute du bleu de méthylène par prises de 5cm³ jusqu'à ce que le teste soit positif. On répète l'essai à l'identique, cinq fois à intervalle d'une minute pour le confirmer.

Calculer la valeur au bleu du sol (VBS) en appliquant la formule suivante :

$$VBS = \frac{B}{ms} \times C \times 100$$

Où :

- ✚ **B** : masse de bleu introduite dans le bécher (en gr).
- ✚ **Ms** : masse sèche de la prise d'essai (en gr).
- ✚ **C** : proportion de 0/5 mm soumis à l'essai dans la fraction 0/50 mm du matériau sec.

VBS=0.1	Sol insensible à l'eau
VBS=0.2	Apparition de sensibilité à l'eau
VBS=1.5	Seuil distinguant les sols sable –limoneux des sols sable-argileux
VBS=2.5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne
VBS=6	Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux
VBS=8	Seuil distinguant les sols argileux ,des sols très argileux

Tableau II-06: classification selon VBS (SESTRA/ LCPC)

II-2-2-8- Teneur en sulfate (EN 1744-1)

II-2-2-8-1- Détermination des insolubles NF P15-461 :

Pour déterminer les insolubles nous procédons de la manière suivante :

- Retire le tamisât passant par le tamis 0,2mm de l'étuve règle 60 °C.
- Mettre dans un bécher 1g d'échantillon
- Ajouter 100 ml d'acide chloridrique dosage à 33%.
- Porter le tout sur une plaque chauffante pendant 10 minutes .
- Une fois la durée d'ébullition est terminée, filtrer le contenu de bûcher dans une fiole.
- Ajouter au filtrat de l'eau distillée jusqu'à la graduation 250 ml.
- Mettre le papier filtre avec le contenu dans un creuset pour la calcination 900°C dans le four pendant 2heure.



Photo II-14: Appareillage d'essais des insolubles

Calculer par la formule :

$$\text{Ins\%} = (P1 - P0) \times 100$$

Où :

✚ **Po** = le poids du creuset vide.

✚ **P1** = le poids du creuset après calcination au four.

Résultat : % $\text{CaSO}_4 = (102,602 - 102,59) \times 184,23 = 2,20\%$.

II-2-2-8-2- Détermination de la teneur en sulfate :

Pour déterminer la teneur en sulfate, on utilise le filtrat obtenu dans l'opération de détermination des insolubles comme suite:

- Prenez 100ml de filtrat qui se trouve dans le fide après une mélange énergique.
- Verse cette quantité dans un bécher.
- Mettre le tout sur une plaque chauffante pendant 10 minutes.
- Une fois les 07 premiers minutes passent, ajouter au contenu de bécher 25ml de chlorure de Barium à 10%.
- Après l'ébullition filtre la solution sur un papier filtre doublée
- Mettre le papier filtre avec le contenu dans un creuset pour la calcination 900 °C dans le four pendant 2 heure_[19].



Photo II-15: Appareillage d'essais de teneur en sulfate

II-2-2-9- Coefficient d' aplatissement (EN 933-3):

L'élaboration des bétons de ciment, ainsi que la réalisation des corps de chaussées, nécessitent de n'utiliser que des granulats ayant une forme assez ramassées , à l'exclusion des granulats plats.

En effet ceux-ci ne permettent pas de réaliser un béton très compact, et par ailleurs, en technique routière, ils ne peuvent être utilisés car ils conduisent à des couches de roulement trop glissantes.

La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats .

La forme d'un granulats est définie par trois grandeurs géométriques :

- la longueur L
- l'épaisseur E
- la grosseur G, dimension de la maille carrée minimale du tamis qui laisse passer le granulats .
- le coefficient d'aplatissement "A" d'un ensemble de granulats est le pourcentage pondéral des éléments qui vérifient la relation : $\frac{G}{E} > 1.58$

II-2-2-10- Coefficient de teneur et absorption d'eau:

Les granulats utilisés pour la confection du béton contiennent généralement une certaine quantité d'eau variable selon les conditions météorologiques. l'eau de gâchage réellement utilisée est par conséquent égale à la quantité d'eau théorique moins l'eau contenue dans les granulats. Il faut par conséquent disposer de moyens pour mesurer combien il y a d'eau dans les granulats.

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

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

➤Mode opératoire:

- placer une quantité déterminée du granulat humide à tester dans une boîte à pétri numérotée préalablement et tare .
- Peser l'ensemble et l'introduire dans une étuve pendant 24 heures sous une température de 105° Celsius.
- Après dessiccation , on pèse l'ensemble une seconde fois
- déduire les masses humide et sèche de l'échantillon et calculer la W

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

E : poids d'eau dans le matériau

P_s : poids du matériau sec

p_h : poids matériau humide

si W est exprimé en % : $W\% = 100 \frac{P_H - P_s}{P_s}$

II-2-2-1-1- Compacité et porosité NFP18-554:

La compacité (C) est définie par le rapport du volume de matière pleine au volume total.

Alors que la porosité (P) est par définition le complément à l'unité de la compacité.

$$C = \frac{MV_{app}}{MV_{aps}} \times 100 (\%); P = 1 - C (\%)$$

L'essai est réalisé selon la norme NFP18-554 [Normes AFNOR]

II-2-2-1-2- Essai de Los Angeles NF P 18541:

Ce mode opératoire est issu de l'essai américain défini par la norme ASTM C131.55

L'essai (NF.P18.573) permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un granulat.

il s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des assises de chaussée, y compris les couches de roulement .

Le matériau estime la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottement s'il se pratique sur les classes granulaires 4/6.3 ou 6.3/10 ou 10/14 on place un échantillon de 5kg de granulats et 7 à 11 boulets de 417g.

$LA = 100(p/5000)$ p est le passant à 1.6 mm.

La norme spécifie que LA doit être $\leq 40_{[20]}$.



photo II-16: La machine de Los Angeles

➤ Mode opératoire:

Mise en place de l'échantillon dans la machine ainsi que la charge de boulets relatifs à la classe granulaire choisie (voir tableau suivant).

classes granulaires (mm)	Fractions	Nombre de boulets	poids total de la charge (g)	poids des fractions (g)
4-6.3		7	3080 ± 20	5000 ± 2
6.3-10		9	3960 ± 25	5000 ± 2
10-14		11	4840 ± 25	5000 ± 2
10-25	10-16	11	4840 ± 25	3000
	16-25	11	4840 ± 25	2000
16-31.5	16-25	12	5280 ± 25	2000
	25-31.5	12	5280 ± 25	3000
25-50	40-25	12	5280 ± 25	3000
	40-50	12	5280 ± 25	2000

Tableau II-07: norme opératoire de Los Angeles

II-2-2-1-3- propreté des graviers:

A l'instar de ce qui se pratique pour les sables, les graviers doivent être propres avant leur utilisation dans la fabrication des bétons. Contrairement aux sables, les graviers présentant des classes granulaires relativement grossières. Ainsi, le principe de séparation des agrégats des éléments fins ne se fera pas par sédimentation mais par lavage en utilisant un tamis de maille 0.5mm (tamisage effectué sous l'eau).

➤Mode opératoire :

- Peser un kg de gravier soit M_0 et le placer dans le tamis.
- Laver l'échantillon jusqu'à ce que l'eau qui traverse le tamis soit claire
- Essuyer l'excès en eau à l'aide d'un chiffon et peser la nouvelle masse, soit M_1 .
- Calculer la propreté : $p (\%) = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100$

Le gravier est considéré propre si la quantité d'éléments fins $\leq 5\%$.

II-2-3- Résultats et discussions:**II-2-3-1- Caractéristiques physique:**

tamis en (mm)	poids de refus partiel.(g)	poids de refus cumulé	pourcentage de refus cumulés %	pourcentage de tamisât cumulés %
5	00	00	00	100
2.5	381.5	381.5	38.15	61.85
1.25	206.50	588	58.80	41.20
0.63	113	701	70.10	29.90
0.315	85	786	78.60	21.40
0.16	168.50	954.5	95.45	4.55
0.08	26	980.5	98.05	1.95
Fond	15	995.5	99.55	0.45

Tableau II-08: Résultats de l'analyse granulométrique de 100% sable recyclé

module de Finesse = $MF \sum$ des refus cumules en % des tamis / 100

$$MF = \frac{38.15 + 58.8 + 70.1 + 78.6 + 95.45}{100} = 3.411$$

Selon le % des refus et le module de finesse qui est égal à 3.411 on peut dire que le sable analyse est un sable trop grossier qui peut être utilisé dans des grands béton pour favoriser des

résistances élevées, mais le béton ne sera pas bien ouvrable, donc un risque de ségrégation existe, d'où la nécessité de faire une correction au sable en ajoutant des fines à ce sable.

tamis en (mm)	poids de refus partiel.	poids de refus cumulé	pourcentage de refus cumulés %	pourcentage de tamisât cumulés %
5	00	00	00	100
2.5	152.5	152.5	15.25	84.75
1.25	55	207.5	20.75	79.25
0.63	65	272.5	27.25	72.75
0.315	469.5	742.0	74.2	25.8
0.16	200	942	94.2	5.8
0.08	46	988	98.8	1.2
Fond	12	1000	100	00

Tableau II-09: Résultats de l'analyse granulométrique de 100% sable de lous

module de Finesse = $MF = \frac{\sum \text{des refus cumules en \% des tamis}}{100}$

$$MF = \frac{15.25 + 20.75 + 27.25 + 74.2 + 94.2}{100} = 2.31$$

Selon la norme le % des refus et le module de finesse qui est égal à 2.31 on peut dire que le sable analyse est un bon sable pour le béton favoriser des résistances élevées, et bonne ouvrabilité.

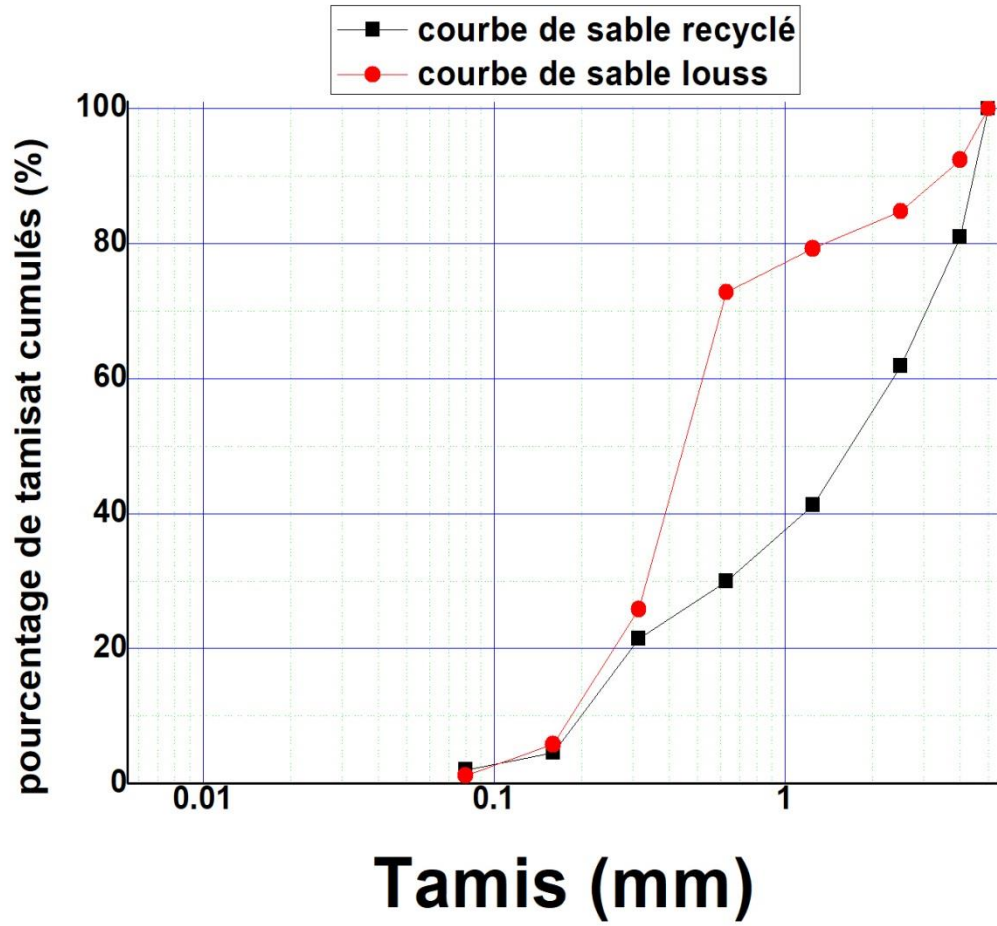


Figure II-01: courbe granulométrique des 100% sables recyclé et 100% louss

tamis en (mm)	poids de refus partiel	poids de refus cumulé	pourcentage de refus cumulés %	pourcentage de tamisât cumulés %
5	00	00	00	100
2.5	273	273	27.3	72.7
1.25	139	412	41.2	58.8
0.63	159.5	571.5	57.15	42.85
0.315	256	827.5	82.75	17.25
0.16	130	957.5	95.75	4.25
0.08	30.5	988	98.8	1.2
Fond	9	997	99.7	00

Tableau II-10: Résultats de l'analyse granulométrique de sable(80% recyclé et 20% lous)

module de Finesse = $MF \sum$ des refus cumules en % des tamis / 100

$$MF = \frac{27.3+41.2+57.15+82.75+95.75}{100} = 3.04$$

Selon le % des refus et le module de finesse qui est égal à 3.04 on peut dire que le sable analyse est un peu grossier. on peut constate que l'ajout d'un taux de 20% de sable lous dans le sable recycle est amélioré le pourcentage de finesse du nouveau mélange compose de 80% sable recycle et 20% sable lous.

tamis en (mm)	poids de refus partiel.	poids de refus cumulé	pourcentage de refus cumulés %	pourcentage de tamisât cumulés %
5	00	00	00	100
2.5	200	200	20	80
1.25	66	266	26.6	73.4
0.63	84	350	35	65
0.315	294.5	644.5	64.45	35.55
0.16	272.5	917	91.7	8.3
0.08	65.5	982.5	98.25	1.75
Fond	17	999.5	99.95	00

Tableau II-11: Résultats de l'analyse granulométrique de sable(20% recyclé et 80% louss)

module de Finesse = $MF \sum$ des refus cumules en % des tamis / 100

$$MF = \frac{20+26.6+35+64.45+91.7}{100} = 2.37$$

Selon le % des refus et le module de finesse qui est égal à 2.37 on peut dire que le sable analyse est un bon sable . on constate que l'ajout en plus d'un taux de 80% de sable louss dans le sable recycle est améliore le pourcentage de finesse du nouveau mélange compose de 20% sable recyclé et 80% sable louss.

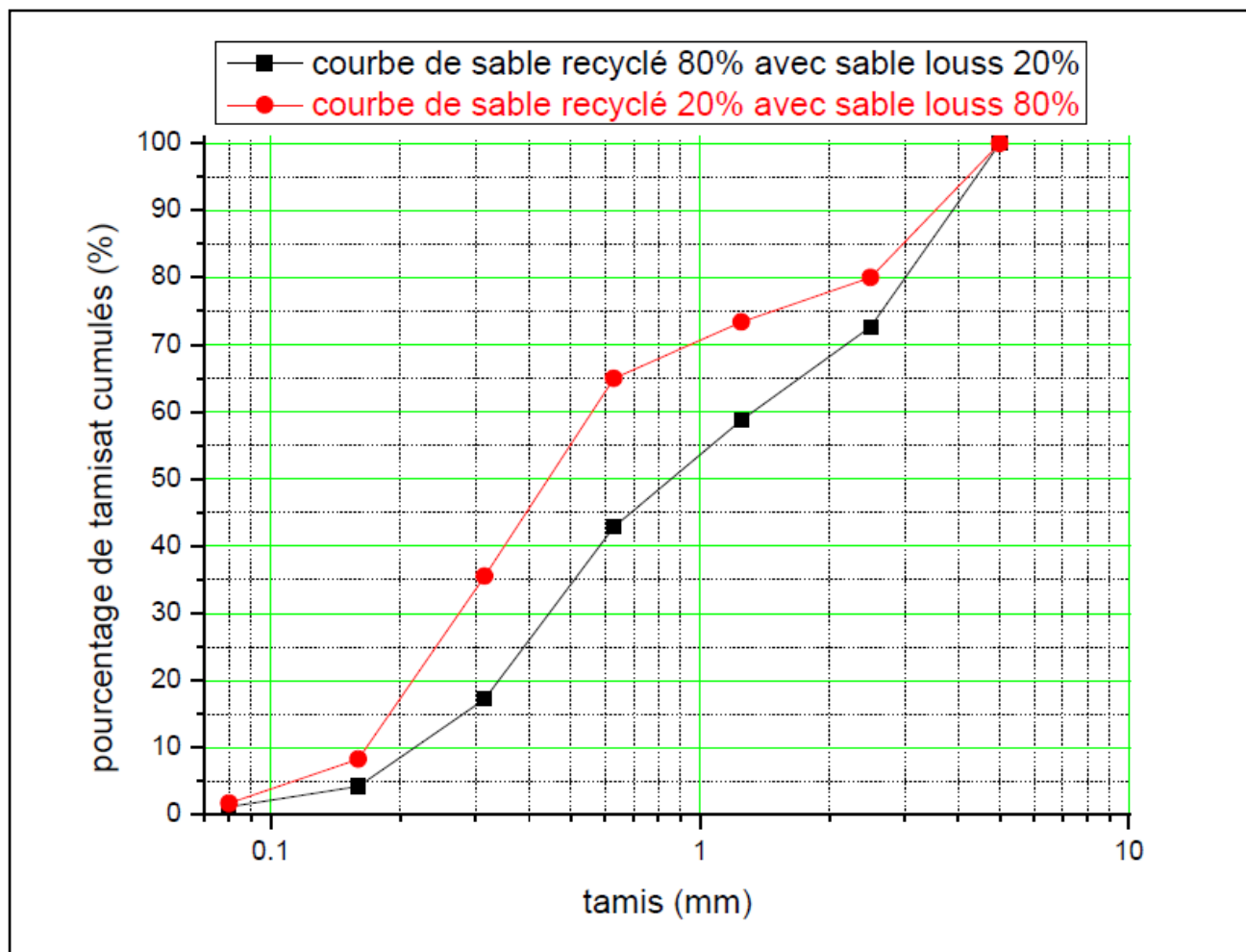


Figure II-02: courbes granulométriques des 80% sables recyclés et 20% naturels et des 20% sables recyclés et 80% naturels

tamis en (mm)	poids de refus partiel.	poids de refus cumulé	pourcentage de refus cumulés %	pourcentage de tamisât cumulés %
5	00	00	00	100
2.5	304	304	30.4	69.6
1.25	101	405	40.5	59.5
0.63	119	524	52.4	47.6
0.315	276	800	80	20
0.16	156.5	956.5	95.65	4.35
0.08	34	990.5	99.05	0.95
Fond	6.5	997	99.7	00

Tableau II-12: Résultats de l'analyse granulométrique de sable(60% recyclé et 40% louss)

module de Finesse = $MF \sum$ des refus cumules en % des tamis / 100

$$MF = \frac{30.4+40.5+52.4+80+95.65}{100} = 2.98$$

Selon le % des refus et le module de finesse qui est égal à 2.98 on peut dire que le sable analyse est un peu grossier. on constate que l'ajout d'un taux de 40% de sable louss dans le sable recyclé est amélioré le pourcentage de finesse du nouveau mélange compose de 60% sable recyclé et 40% sable de louss.

tamis en (mm)	poids de refus partiel	poids de refus cumulé	pourcentage de refus cumulés %	pourcentage de tamisât cumulés %
5	00	00	00	100
2.5	230.5	230.5	23.05	76.95
1.25	85.5	316	31.6	68.4
0.63	103.5	419.5	41.95	58.05
0.315	320.5	740	74	26
0.16	214.5	954.5	95.45	4.55
0.08	35	989.5	98.95	1.05
Fond	7.5	997	99.7	00

Tableau II-13: Résultats de l'analyse granulométrique de sable(40% recyclé et 60% louss)

module de Finesse = $MF \sum$ des refus cumules en % des tamis / 100

$$MF = \frac{23.05+31.6+41.95+74+95.45}{100} = 2.66$$

Selon le % des refus et le module de finesse qui est égal à 2.66 on peut dire que le sable analyse est un bon sable. on constate que l'ajout en plus d'un taux de 60% de sable louss dans le sable recycle est amélioré le pourcentage de finesse d'un mélange proportionne des deux sables : 40% sable recyclé et 60% sable de louss.

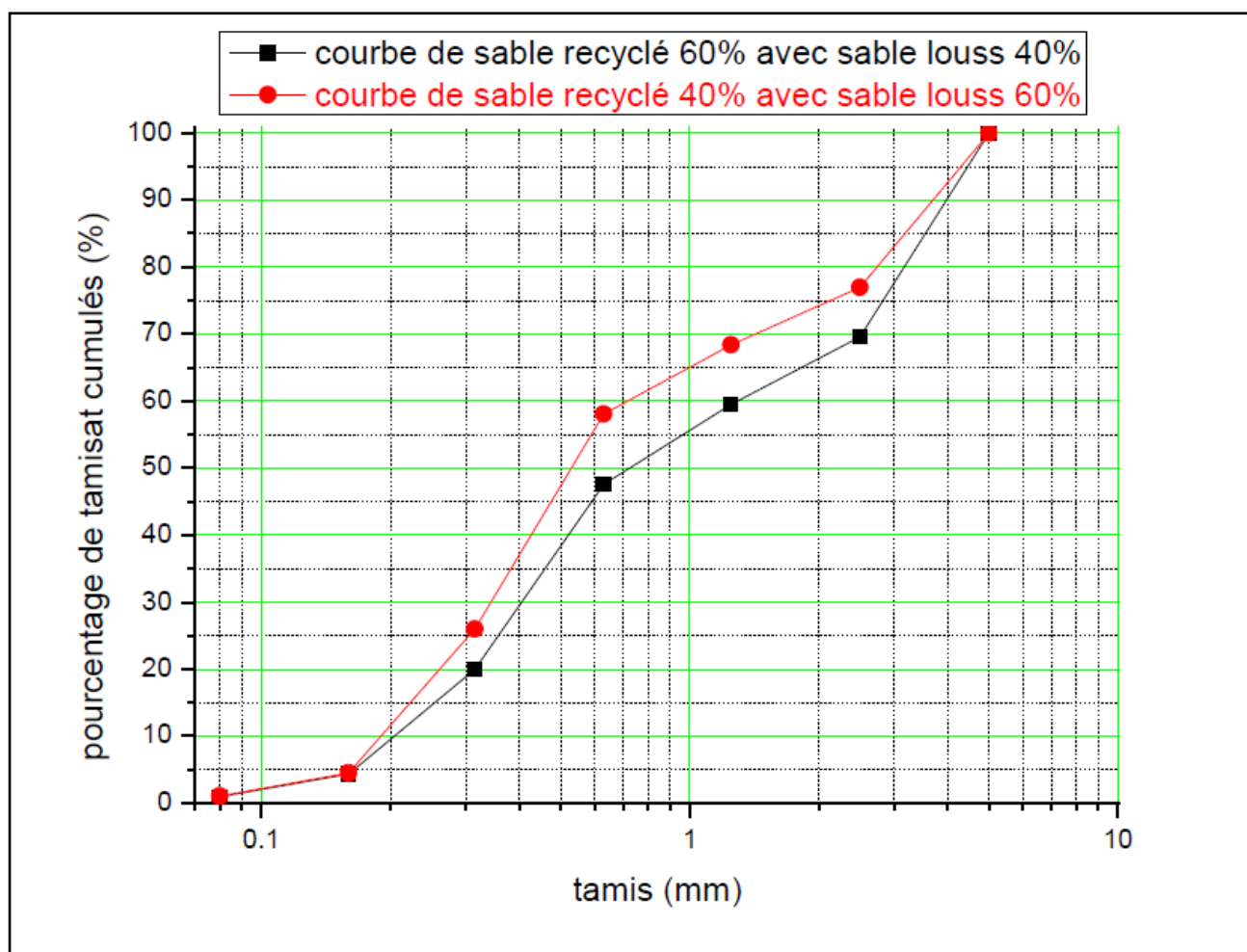


Figure II-03: courbes granulométriques des 60% sables recyclé et 40% louss et des sables 40% recyclé et 60% louss

tamis en (mm)	poids de refus partiel G	poids de refus cumulé g	pourcentage de refus cumulés %	pourcentage de tamisât cumulés %
16	00	00	00	100
14	1085	1085	21.7	78.3
12.5	540	1625	32.5	67.5
10	975	2600	52	48
8	1200	3800	76	24
6.3	680	4480	89.6	10.4
5	280	4760	95.2	4.8
4	165	4925	98.5	1.5

Tableau II-14 : Résultats de l'analyse granulométrique de Gravier recyclé GR 8/16
(NF P 18-560)

tamis en (mm)	poids de refus partiel (g)	poids de refus cumulé (g)	pourcentage de refus cumulés %	pourcentage de tamisât cumulés %
10	00	00	00	100
8	1135	1135	37.83	62.17
6.3	445	1580	52.66	47.34
5	230	1810	60.33	39.67
4	165	1975	65.83	34.17
2.5	615	2590	86.33	13.67
1.25	370	2960	98.66	1.34

Tableau II-15: Résultats de l'analyse granulométrique de Gravier recyclé GR 3/8 (NF P 18-560)

Tamisage sur tamis		Tamisage sur grille		
Tamis en (mm)	masse refus en (g)	Ecartement des grilles en (mm)	masse passant en (g)	coefficient d'aplatissement
14	38.7	10	3.3	0.07
12.5	1019.7	8	124.8	2.5
10	3030.2	6.3	265.7	5.33
8	826.8	5	39.2	0.78
6.3	51.1	4	2.2	0.04
5	12.6	3.15	0.8	0.02
4	5.4	2.5	0.6	0.01
Σ masse refus 4984.5		Σ masse passant 436.6 Σ CA 8.75		

Tableau II-16: Résultats du coefficient d'aplatissement (NF P 18- 561)

II-2-3-2- Caractéristiques mécaniques:

Echantillon	Classe granulaire	Coefficient de Los-Angeles LA
Gravier recyclé	3/8	29%
	8/16	34%

Tableau II-17: Résultats de coefficient de Los –Angeles

coefficient C_1 Nature de la roche

< 20 % Très dur

20 à 25 % Dur

25 à 30 % Assez dur

30 à 40 % Mi-dur

40 à 50 % Tendre

> 50 % Très tendre

Plus le coefficient Los Angeles est petit, plus la roche est bonne, ce qui traduit en résistance du béton composé, car la durée est synonyme de très grande résistance.

Les agrégats acceptables pour la production du béton doivent avoir un Coefficient Los Angeles $LA \leq 40\%$ selon la norme française NF P 18-573, La majorité des auteurs confirment avoir trouvé des coefficients Los-Angeles satisfaisants pour ces granulats recyclés.

Types d'échantillon	classes granulaires	masse apparente	masse absolue	taux de compacité	taux de porosité
sable recyclé	0/5	1.49	2.38	62.6	37.4
sable louss	0/5	1.50	2.38	63.02	36.98
Gravier recyclé	3/8	1.17	2.32	49.57	50.43
	8/16	1.18	2.32	49.57	50.43

Tableau II-18: Résultats des masses volumiques et compacité

La compacité du sable selon Dreux doit être entre 55 et 65 %. Les résultats ci-dessus montrent que les sables recyclés et les sables louss sont acceptable_[21].

On remarque la compacité est moins faible pour le gravier .

	Sable recyclé	Sable louss	Gravier recyclé3/8	Gravier recyclé8/16
teneur en eau	1.52%	0.25%	2.04%	0.75%
Absorption d'eau	-	-	2.27%	2.04%

Tableau II-19: Résultats de teneur et absorption d'eau

II.2.3.3 Caractéristique chimique:

Types d'essais		Sable recyclé 0/5	Sable louss 0/5	Gravier recyclé3/8	Gravier recyclé8/16
propreté superficielle		-	-	2.25%	0.75%
Taux d'équivalent de sable		75%	64%	-	-
Bleu au méthylène		16%	33%	-	-
Teneur en Sulfate	Insol	33%	42.51%		
	SO ₃ ⁻²	1.33%	4.24%		
	CaSO ₃	65.67%	53.25%		

Tableau II-20: Résultats de différents essais chimiques

on constate une propreté admissible pour les graviers et les sables soit recyclés ou louss pour les minéraux argileux présents dans les sables les résultats indique qu'on peut classe les deux sables dans la catégorie argileux. D'après les résultats de la teneur en sulfate le sable louss est contient un taux plus élève que les sables recyclés

II-3- Conclusion:

Nous avons exposé dans ce chapitre les différentes méthodes de caractérisation physique et mécanique des matériaux utilisés dans notre projet de recherche (les granulats, le ciment) ainsi que les résultats obtenus. On peut les résumer en ce qui suit :

- ✚ D'après les résultats granulométriques relevé des différents sables, on constate que le taux d'ajout de sable de louss dans le sable recyclé influe sur l'amélioration de module de finesse, lorsque le taux de sable louss augmente on obtient une diminution de module de finesse varie entre 3.04 (peu grossier) et 2.37 (bon sable).
- ✚ Les photos MEB des sables (recycle et louss) ,prises du laboratoire de la faculté des sciences exactes de l'université d'ELoued, montre que les sables ayant une géométrie acceptable caractérise par la forme angulaire et un aspect rigoureux qui favorisent une bonne adhérence de mélange du béton.
- ✚ Les coefficients de Los-Angeles obtenus montre que ces résultats classifient les graviers recycle dans la classe mi-dur. cette classification joue un paramètre important sur la résistance mécanique du béton.
- ✚ Pour la masse volumique absolue des sables recycles et des sables de louss sont égal à 2.38 et pour les graviers est de 2.32. La compacité du sable selon Dreux doit être entre 55 et 65 %. Les résultats ci-dessus montrent que les sables recyclés et les sables louss sont acceptable. On remarque la compacité est moins faible pour le gravier.
- ✚ On constate une propreté admissible pour les graviers recycles et les sables soit recycles ou louss. Pour les minéraux argileux présents dans les sables les résultats indique qu'on peut classer les deux sables dans la catégorie argileux, d'après les résultats de la teneur en sulfate dans le sable de louss est contient un taux plus élevés que le sables recyclés.

Chapitre III

Formulation Des Bétons

Et Méthodes Expérimentales

III-1- Introduction:

Dans ce chapitre nous allons exposer la formulations des bétons qu'on a utilisés pour confectionner les différents mélanges des bétons.

La formulation d'un béton consiste à définir les proportions de ses différents constituants. La formulation des bétons dépend des propriétés de mise en œuvre, mécaniques et de durabilité souhaitée. Toutes les méthodes de formulation suivent les mêmes grandes lignes résumées comme suit.

- ☒ Choix du squelette granulaire (gravillons et sable) et du diamètre maximal des granulats, le squelette doit être validé par un fuseau granulaire de béton correspondant au type de béton espéré. Un fuseau granulaire est obtenu par rassemblement des courbes granulaires des bétons de qualité, qui ont fait preuves dans des projets antérieurs.
- ☒ Choix de la nature du ciment et du rapport E/C (eau / ciment) .
- ☒ Choix de la quantité de ciment et donc du volume des granulats.
- ☒ Choix des adjuvants.
- ☒ Recherche par le biais d'essais expérimentaux des dosages en adjuvants.

Il existe plusieurs méthodes pour formuler le béton telles que la méthode de BOLOMEY, la méthode d ABRAMS, la méthode de FAURY, la méthode VALETTE, la méthode de JOISEL et celle de DREUX GORISSE.

Notre choix s'est porte sur la méthode dite (Dreux –Gorisse) qui permet de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié.

III-2- Composition et formulation des bétons et mélanges retenus:

Pour notre étude on adopte une composition du béton témoin à base des sables recyclés de classe 0/5, dénommé B₀ il constitue par les matériaux suivant:

- Sable recycle 0/5 (SR 0/5)
- Gravier recycle 3/8 (GR 3/8)
- Gravier recycle 8/16 (GR 8/16)
- G/S: 1.5
- E/C :0.62
- Eau
- Ciment CEMII B classe 42.5
- Adjuvant super plastifiant (réducteur d'eau), 2% du poids de ciment.

III-2-1- Nomenclature des bétons étudiés:

Après avoir définis les proportions du béton témoin "B₀", nous allons déterminer les cinq compositions des autres bétons B₁, B₂, B₃, B₄, B₅.

Ces derniers sont obtenus en maintenant toutes les proportions identiques au béton témoin (gravier 3/8, gravier 8/16, ciment, eau et adjuvant), la seule modification est la proportion en sable (recycle et louss) dans chaque mélange.

Ces compositions de bétons ont été préparées à raison de cinq taux du sable louss intègre dans le sable recycle (100%, 80%, 60%, 40%, 20%).

La nomenclature des bétons testés est donnée dans le tableau suivant:

Dénomination du Béton	Matériaux et Proportions utilisées						
	Sable recycle 0/5	Sable louss 0/5	Gravier recycle 3/8	Gravier recycle 8/16	Ciment	Eau	Adjuvant 2%
B ₀	100%	00%	100%	100%	100%	100%	100%
B ₁	00%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
B ₂	80%	20%	100%	100%	100%	100%	100%
B ₃	60%	40%	100%	100%	100%	100%	100%
B ₄	20%	80%	100%	100%	100%	100%	100%
B ₅	40%	60%	100%	100%	100%	100%	100%

TableauIII-01: Nomenclature des compositions de bétons testés

III-3- La méthode de Formulation (Dreux- Gorisse):

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales des matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton, Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton :

- Détermination du rapport C/E.
- Détermination de C et E.
- Détermination du mélange optimal à minimum de vides.
- Détermination de la compacité du béton.
- Détermination des masses de granulats.

III-3-1- Les étapes d'application de la méthode Dreux-Gorisse:

Données de bases :

On a les données suivantes :

- F_{c28} demande est de 30 MPa.
- Affaissement de A = 5cm (béton témoin).
- Plasticité : béton plastique.
- Nombre de chocs : 15 à 25.
- Serrage : vibration normale.
- Le ciment utilisé est un CEM II/B-L 42,5N et ρ absolue = 3.1 Kg/m³.
- le dosage en ciment est de 350kg /m³.
- Les granulats recyclés concassés de classes : SR 0/5, GR 3/8 et GR 8/16.
- sable lous de classe SL 0/5.
- E/C théorique: 0.62.

Constituants	Masse volumique absolue kg/m ³	Masse volumique apparente kg/m ³
Sable recycle (0-5)	2.38	1.49
Sable lous (0-5)	2.38	1.50
Gravier R(3-08)	2.32	1.18
Gravier R(8-16)	2.32	1.17

Tableau III-02: masse volumique des granulats

Diamètre tamis en mm	Pourcentage des Tamisât cumules en %			
	Sable recyclé 0/5	Sable louss 0/5	Gravier recyclé 3/8	Gravier recyclé 8/16
16				100
14				78.3
12.5				67.5
10			100	48
8			62.17	24
6.3			47.34	10.40
5	100	100	39.67	4.8
4	100	100	34.17	1.5
2.5	61.85	84.75	13.67	
1.25	41.2	79.25	1.34	
0.63	29.9	72.75		
0.315	21.4	25.8		
0.16	4.55	5.8		
0.08	1.95	1.2		
fond	0.45	00		

Tableau III-03: Granulométrie des agrégats par classe

$D_{max} = 20$ mais en prendre $D_{max} = 16$ par ce qu'il le normes il donne pourcentage des refus cumules entre 1-15 % donc dans notre travaillé le pourcentage cumule de tamis N°20 inférieur 1%. Donc on prend $D_{max} = 16$ mm.

☒ Etape 1: Détermination D_{max} :

- D'après cette graphe ; $D_{max1} = 10$ mm et $D_{max2} = 16$ mm

☒ Etape 2 : Détermination du dosage en ciment:

- Résistance moyenne à 28 jours : Calcul de $f_{cm} = f_{c28} \times 1,15 = 30 \times 1,15 = 34,5$ MPa
- Rapport C/E :

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins ($D \leq 16\text{mm}$)	Moyens ($20 \leq D \leq 40 \text{ mm}$)	Gros ($D \geq 50\text{mm}$)
Excellente	0.55	0.60	0.65
Bonne Courante	0.45	0.50	0.55
Passable	0.35	0.40	0.45

Tableau III-04: Valeurs approximatives du coefficient granulaire G

Donc en prendre Coefficient granulaire moyenne: $G = 0.45$

$$\frac{C}{E} = \frac{f_{cm}}{G \cdot \sigma_{c28}} + G = \frac{34.5}{0.45 \times 62.5} + 0.45 = 1.67$$

- Dosage en ciment et eau

$A = 5\text{cm}$ et $C/E = 1,67$

Donc d'après ce graphique on prend le dosage en ciment 350 Kg/m^3 .

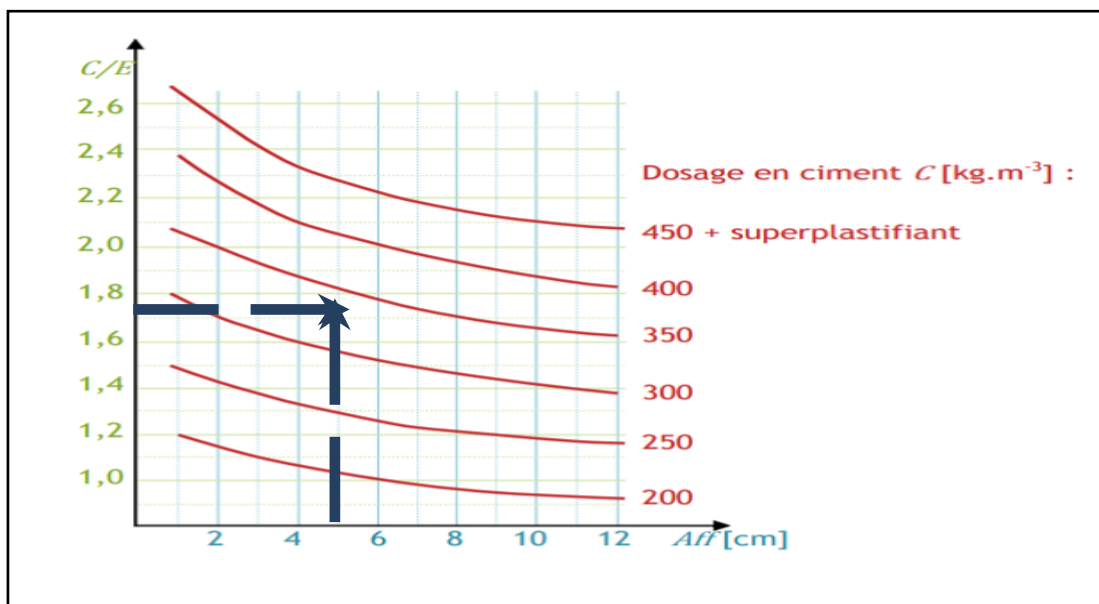


Figure III-01: Graphique indiquant Approximativement le dosage en ciment

en fonction de C/E et de l'ouvrabilité désirée

☒ Etape 3: Détermination du dosage en eau:

- Calcul de E: $C/E = 1,67 \Rightarrow E = 350/1,67 = 209,58 \text{ l/m}^3$
- Correction sur le dosage en eau :

Dimension maximale des granulats D en mm	5	8à10	12.5à16	20à25	30à40	50à63.5	80à100
Correction sur le dosage en Eau	+15	+9	+4	0	-4	-8	-12

Tableau III-05: Abaque de correction le dosage en eau

Correction sur le dosage en eau en fonction de D : +4%

$$\Rightarrow E_c = E = 209,58 \times 1.04 = 217.96 \text{ L/m}^3$$

☒ Etape 4 : Tracé courbe granulaire (O A B):

- Courbe granulométrique :

Sur un graphique granulométrique type AFNOR, on trace les courbes granulométriques de chaque classe.

- Courbe de référence.
- Coordonnées de O : (0 ;0)
- Coordonnées de B : (D ;100%).
- Coordonnées de A : (X ;Y).

$X=D/2$ si $D \leq 20 \text{ mm}$ sinon X est le milieu du segment limité par les tamis 5 mm et D.

$$X= 16/2 = 8 \text{ donc } XA=8$$

$$\text{Calcule de } YA= 50 -\sqrt{(D + K + Ks + Kp)}$$

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Format des granulats		Roulé	concassé	Roulé	concasé	Roulé	concassé
Dosage en ciment	400+super plastifiant	-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

TableauIII-06: Abaque valeur du terme correcteur K

- K, optimisation de la compacité en fonction du type de vibration, de la forme des granulats, et du dosage en ciment $K = 2$

- Ks, ajustement pour les sables de granularité un peu grossière:

$MF = 3,41 > 2,8$ donc : $K_s = 5,4 \times MF - 15$ (MF: module de finesse du sable recyclé).

$$K_s = 5.4MF - 15 = 5.4 \times 3,41 - 15 \Rightarrow K_s = 3.414$$

- Kp, ajustement du dosage en sable pour faciliter le transfert par les pompes à béton.

$K_p = 0$ si béton non pompable ; $5 \leq K_p \leq 10$ si béton pompable. Donc $K_p = 0$

$$YA = 50 - \sqrt{(16 + 2 + 3.414 + 0)} = 51.41$$

$$\Rightarrow \begin{cases} X = 8 \\ Y = 51.41 \end{cases}$$

Courbe de mélange :

Avec les pourcentages pondéraux, on compose la courbe de mélange.

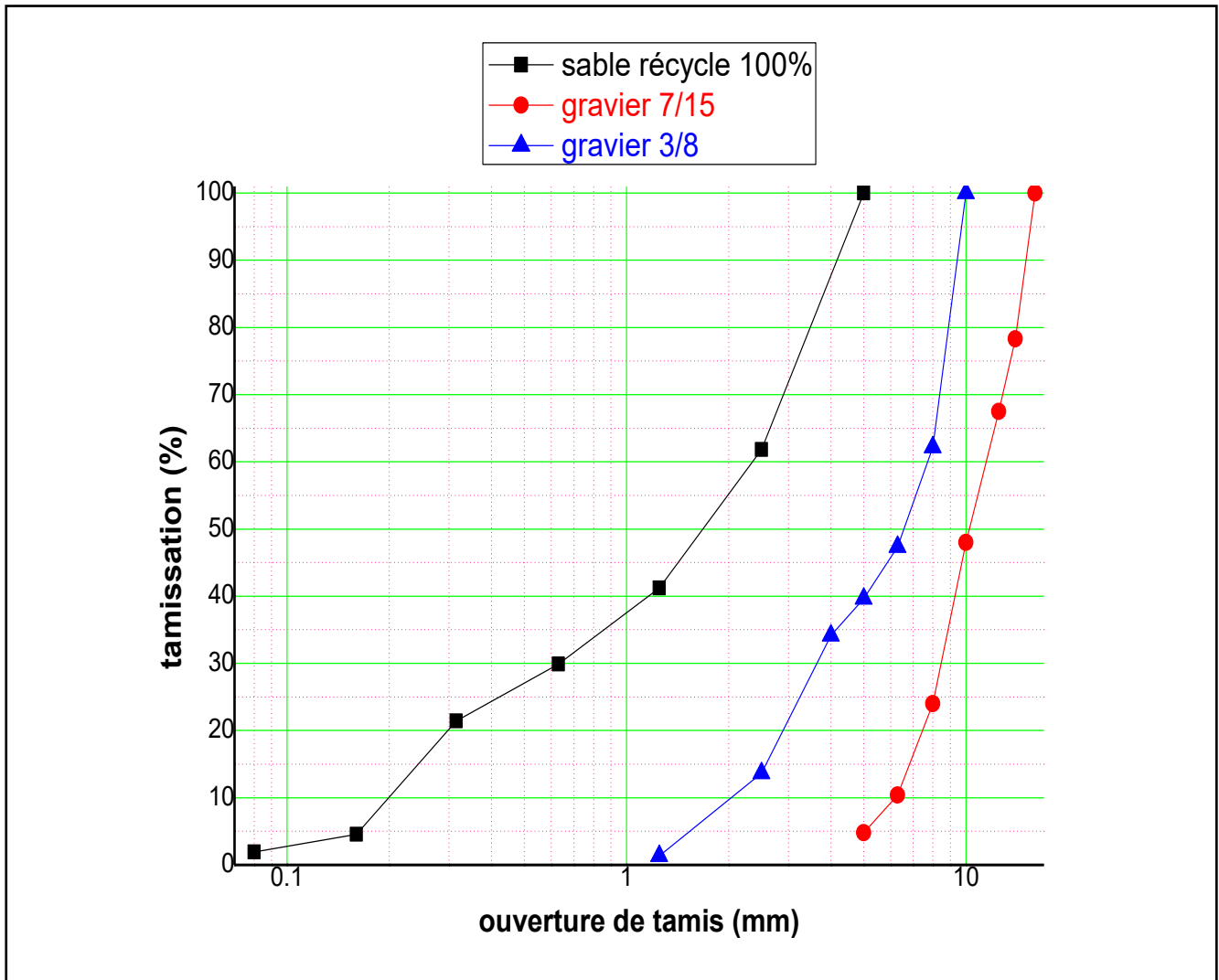


Figure III-02: courbe granulair (O A B)

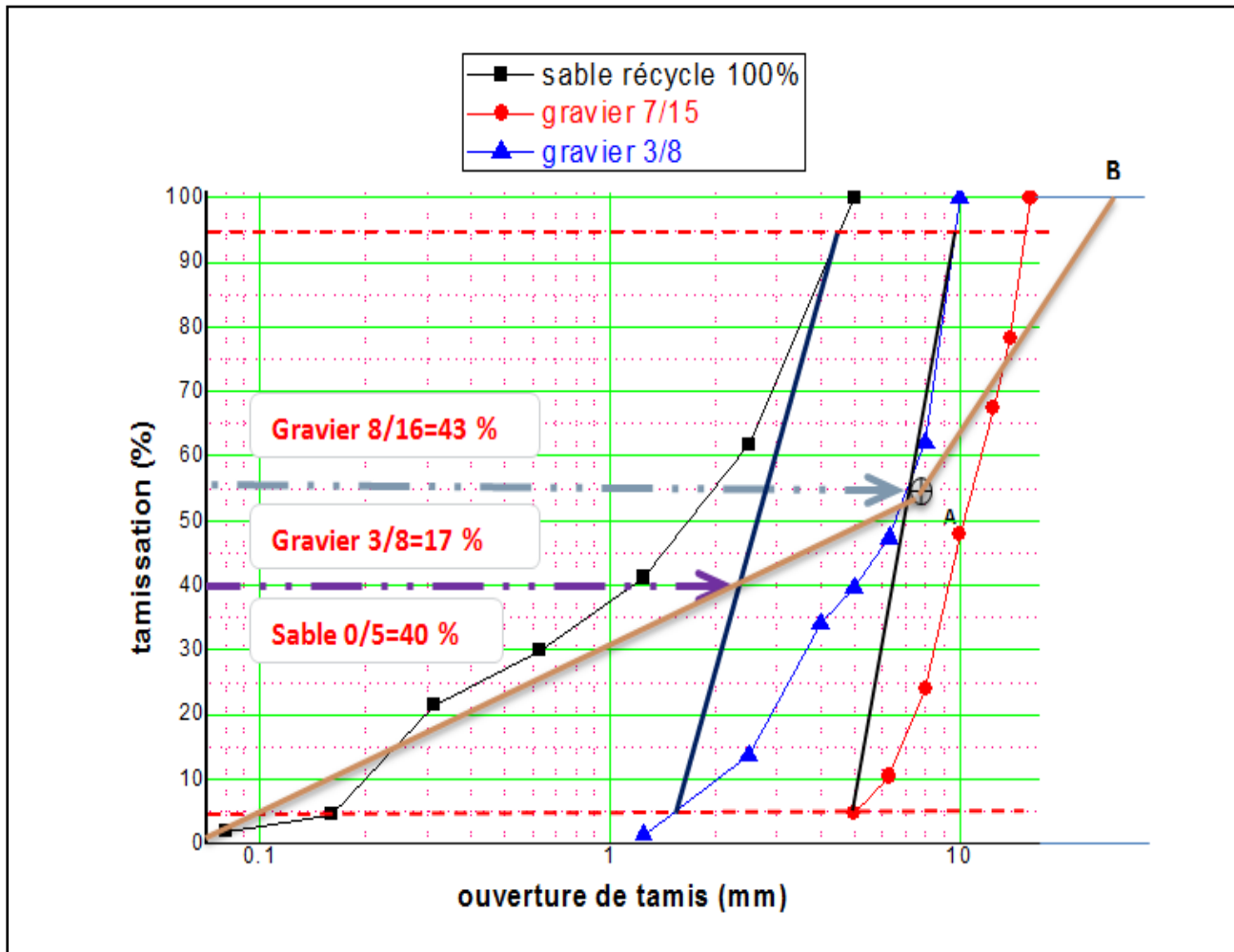


Figure III-03: courbe de différents pourcentage des granulats

Le trace correspondant (OAB) donne à la rencontre avec les lignes de partages les pourcentages des trois granulats en volume absolu soit :

- 40% sable recyclé classe 0/5
- 17% Gravier recyclé classe 3/8
- 43% Gravier recyclé classe 8/16

Coefficient de compacité γ

☒ Etape 5: Coefficient de compacité g :

Ouvrabilité d'un béton en fonction de l'affaissement au cône		
Ouvrabilité	Serrage	Affaissement 'A' en cm
Ferme "F"	Bonne vibration	$1 \leq A \leq 4 \text{ cm}$
Plastique "P"	Vibration courante	$5 \leq A \leq 9 \text{ cm}$
Très Plastique "TP"	Piquage	$10 \leq A \leq 15 \text{ cm}$
Fluide "Fl"	Usage d'un plastifiant	$A \geq 16 \text{ cm}$

Tableau III-07: Evaluation de l'ouvrabilité par rapport à l'affaissement au cône

⇒ A = 5 cm : Béton plastique.

Consistance	Serrage	γ coefficient de compacité en fonction du diamètre D des granulats						
		D = 5	D = 10	D= 12,5	D = 20	D= 31,5	D = 50	D = 80
Molle	Piquage	0,750	0,780	0,75	0,805	0,810	0,815	0,820
	Vibration faible	0,755	0,785	0,80	0,810	0,815	0,820	0,825
	Vibration normale	0,760	0,790	0,805	0,815	0,820	0,825	0,830
Plastique	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 puissante	0,775	0,805	0,820	0,830	0,835	0,840	0,845
Ferme	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 puissante	0,785	0,815	0,830	0,840	0,845	0,850	0,855
Ces valeurs sont convenables pour des granulats roulés sinon il conviendra d'apporter les corrections suivantes: sable roulé et gravier concassé = -0,01 sable et gravier concassé = -0,03								

Tableau III-08: coefficient de compacité

- Valeur du coefficient de compacité : $\gamma = 0.815 + 0.825 / 2 = 0,820$ (moyenne)
 γ corrige = $0,820 - 0,03 = 0,79$.
- Volume absolu du ciment : Ciment $c = 350 / 3.1 = 112.90 \text{ l/m}^3$
- Volume absolu des granulats : Sable 0/5 + G3/8 + G8/16 : $V_t = 1000 \gamma - c$
 $V_t = 1000 \times 0,79 - 112.9 = 677,1 \text{ l/m}^3$.
- Volume absolu du sable: $v_s = v_t \times \% \text{ sable} : v_s = 677.1 \times 40 / 100 = 270.84 \text{ l/m}^3$.
- Volume absolu du G3/8: $v_g = v_t \times \% \text{ gravier} : V_g = 677.1 \times 17 / 100 = 115.11 \text{ l/m}^3$.
- Volume absolu du G8/16 : $v_G = v_t \times \% \text{ gravier} : V_G = 677.1 \times 43 / 100 = 291.15 \text{ l/m}^3$.
- ☒ Etape 6: Dosage pondéral de composants (pour 1 m^3 de béton) :

Constituants	Méthode de calcul		Quantité en Kg/ m3
Sable recycle (0-5)	S= VS X γ S	270.84 X 2.38	644.60
Gravier R(3-8)	G1= VG X γg	115.11 X 2.32	267.06
Gravier R(8-16)	G2= Vg X γ G	291.15 X 2.32	675.47
Ciment	Abaque dreux A=5cm et C/E=1.67		350
Eau	E=(350/1.67)*1.04		217.96
Densité théorique du béton frais en œuvre			2.155

Tableau III-09: Dosage pondéral de composants (pour 1 m³ de béton)

La détermination du rapport en volume absolu G/S = gravier/sable.

$$G/S = 1.5$$

Calculer de volume du béton (SR 0-5+GR 3-8 + GR 8-16 + Ciment + Eau) pour :

$$\boxed{\times} \text{ Moule cubique } 10 \times 10 \times 10 \text{ (cm)} = 0,001 \times 3 \text{ Eprouvettes} \times 3 \text{ Essais} = 0,009 \text{ m}^3$$

$$\boxed{\times} \text{ Moule prismatique } 7 \times 7 \times 28 \text{ (cm)} = 0,0014 \times 3 \text{ Eprouvettes} \times 3 \text{ Essais} = 0,013 \text{ m}^3$$

$$\boxed{\times} \text{ Moule cylindrique } 11 \times 22 \text{ (cm)} = 0.0064 \times 3 \text{ Eprouvettes} \times 3 \text{ Essais} = 0.0576 \text{ m}^3$$

$$\text{Chaque type de mélange} = 0,0796 \text{ m}^3$$

Exemple de calcul: 1m³ Béton..... 644.60Kg (S.R)

$$0,0796 \text{ m}^3 \dots\dots\dots X$$

$$X_s = 51.31 \text{ Kg} \quad \text{quantité de sable recyclé classe (0/5)}$$

$$X_{g1} = 21.258 \text{ Kg} \quad \text{quantité de gravie recyclé classe (3/8)}$$

$$X_{g2} = 53.767 \text{ Kg} \quad \text{quantité de gravie recyclé classe (8-16)}$$

$X_c = 27.86 \text{ Kg}$ quantité de Ciment

$X_e = 17.349 \text{ Kg}$ quantité d'eau

Tableau N°11		Sable	Gravier	Gravier		
		Recyclé	Recyclé	Recyclé	Ciment	Eau
		Classe(0-5)	Classes (3-8)	Classes (8-16)		
		(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
Sable recyclé Sec		51.31	21.258	53.767	27.86	17.349
Sable louss SL100%	Louss	51.31				
SR 20% AVEC SL 80%	SR	10.26				
	SL	41.05				
SR 80% avec SL 20%	SR	41.05				
	SL	10.26				
.SR 40% avec SL 60%	SR	20.52				
	SL	30.79				
SR 60% avec SL 40%	SR	30.79				
	SL	20.52				

Tableau III-10: Récapitulatifs détaillés de chaque type de mélange en Kg

calculé volume de cône d'Abrams = $0,00588 \text{ m}^3$ mais volume réel = $0,00549 \text{ m}^3$.

Exemple de calcul: 1 m^3 Béton..... 644.60Kg (S.R)

0.00588 m^3 X

$X_s = 3.790 \text{ Kg}$ quantité de sable recyclé classe (0/5)

$X_{g1} = 1.570 \text{ Kg}$ quantité de gravier recyclé classe (3/8)

$X_{g2} = 3.971 \text{ Kg}$ quantité de gravier recyclé classe (8/16)

$X_c = 2.058 \text{ Kg}$ quantité de Ciment

$X_e = 1.163 \text{ Kg}$ quantité d'eau

III-4- Confection du béton:

III-4-1- Procédure de malaxage [EN 480-1]:

La méthode de malaxage suivante doit être adaptée afin de garantir la respectabilité des résultats et d'éliminer l'effet que pourrait avoir une absorption d'eau initiale sur la consistance. On à humecter l'intérieur de la cuve à l'aide d'un linge humide par ce qu'elle est sèche. On à introduire dans la cuve la totalité des granulats secs puis la moitié de la quantité d'eau de gâchage. Malaxer pendant 2 min, puis laisser reposer 2 autres minutes. Recouvrir la cuve pendant la période de repos pour réduire les effets de l'évaporation. Remettre le malaxeur en marche pendant 30 s après ou pendant l'addition du ciment. Pendant les 30 s suivantes, ajouter le reste d'eau. Malaxer pendant 2 min. Déterminer la consistance dans les 5 min qui suivent la fin de malaxage.



photo III-01: Bétonnière utilisée pour le malaxage des bétons

III-4-2- Vibration [NF P18 421]:

La mise en place du béton est réalisée sous une vibration manuel. Le serrage du béton doit être effectué immédiatement après le remplissage des moules de façon à obtenir un serrage à refus du béton sans ségrégation.

III-4-3- Confection des éprouvettes [NF P18 404]:

Pour la confection de toutes nos éprouvettes, nous avons adopté la procédure suivante avant le remplissage des moules, on applique un lubrifiant sur les parois pour éviter toute cohésion de la pâte, le remplissage des éprouvettes se fait en deux couches. La vibration a été effectuée sur une table vibrante.

III-4-3-1- Choix des éprouvettes:

Dans cette étude on a utilisé trois types d'éprouvettes :

- 1) Des éprouvettes cubiques de dimension (10*10*10)cm. de l'essai de compression.
- 2) Des éprouvettes prismatiques de dimension (7*7*28)cm. Pour l'essai de flexion .
- 3) Des éprouvettes cylindriques de (11*22)cm. pour l'essai de traction par fendage .

III-4-3-2- Remplissage des moules:



photo III-02: Remplissage des différents moules

III-4-3-3- Conservation des éprouvettes:

➤ Conservation avant démoulage:

L'arasement terminé, les éprouvettes sont conservées, sans être déplacées pendant 24 heures $\pm$ 1 heure au sein de notre laboratoire à la température d'environ de 20 ± 5 °C et de 25 ± 5 °C dans les pays chauds). Et chacune d'entre-elle est numérotée.

➤ Conservation après démoulage:

Les éprouvettes doivent être entreposées dans de l'eau jusqu'au moment de l'essai, à une température de 20 °C $\pm$ 2 °C, ou dans une chambre à 20 °C $\pm$ 2 °C et une hygrométrie relative ≥ 95 %. Les éprouvettes conservées à l'eau ont présenté des résistances plus élevées que celles conservées à l'air suite à une hydratation plus complète du ciment.

III-5- Caractéristiques des bétons à l'état frais:

III-5-1- Essai d'affaissement au cône d'Abrams [NF P 18-439]:

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

IL existe plusieurs méthodes de mesure de l'ouvrabilité du béton reposant sur des principes différents. L'essai qui a été effectué dans cette étude est :

L'essai d'affaissement car il est des plus simples et des plus fréquemment utilisés, et très facile à mettre en œuvre. Il ne nécessite qu'un matériel peu coûteux et peut être effectué directement sur chantier par un personnel non hautement qualifié mais ayant reçu simplement les instructions nécessaires au cours de quelques séances de démonstration.

☒ Essai d'affaissement sur béton:



Photo III-03: Les étapes de l'essai sont déterminées

☒ Classe de consistance du béton :

Il existe 5 différentes classes de consistance des bétons référencées par la norme NF EN206

Classe de consistance	Affaissement (cm)
Ferme	0 à 4 ± 1cm
Plastique	5 à 9 ± 2cm
Très plastique	10 à 15 ± 3cm
Fluide	≥ 22
Très Fluide	

Tableau III-11: Classe de consistance en fonction d'affaissement.

III-5-2- La masse volumique[NF EN 12350-6]:

La masse volumique des mélanges de béton frais est déterminée selon la norme [NF EN 12350-6]. Elle est déterminée par le remplissage d'un récipient , de volume V et de masse M₀, par une quantité suffisante de béton, le récipient rempli sera pesé donnant la masse M₁.En déduire la masse volumique par la formule suivante:

$$\rho = \frac{M_1 - M_0}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}.$$

M₀ vide : la masse du récipient vide en kg.

M₁ rempli : la masse du récipient rempli de matériau en kg.

V : volume du récipient en m³.



photo III-04: Essai de la masse volumique a l'état frais.

III-6- Caractéristiques des bétons à l'état durci:

III-6-1- Masse volumique du béton à l'état durci:

Après (7, 28, 60) jours de conservation à l'eau, les éprouvettes ont été séchées à l'air libre jusqu'à obtenir une masse constante pour calculer les masses à l'état durci.

III-6-2- La résistance à la compression NF P18-406:

L'essai de compression simple est déterminé selon la norme française [NF 12390-3] sur des éprouvettes cubiques($10 \times 10 \times 10$) cm^3 figure ont été confectionnées dans des conditions thermo hygrométrique ($T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $\text{HR} = 65\%$) Les essais ont été réalisés à l'échéance fixée de (7, 28 et 60 jours). les éprouvettes ont été démoulées 24 heures après le coulage et conservées sous l'eau dans une température de $20 \pm 2^\circ\text{C}$.

L'essai de compression est réalisé au laboratoire de l'institut de la formation professionnelle d'ELoued à l'aide d'une presse de capacité maximale de 3000 KN avec une vitesse de chargement d'environ de 0.5 Mpa/s_[23].

L'éprouvette est centrée entre les plateaux de la presse hydrauliques. L'essai de compression est conduit jusqu'à la rupture de l'éprouvette (vitesse de déplacement 0.02 mm/s).

La résistance à la compression est calculée selon la formule suivante : $C = F/S$

F : charge de rupture

S : section de l'éprouvette.

C : Contraint de compression.



Photo III-05: Machine de compression utilisée.

III-6-3- Essai de flexion [NF 12390-5]:

L'essai de flexion est déterminé selon la norme française [NF 12390-5], il s'applique uniquement sur des éprouvettes prismatiques. (7×7×28) cm

On i obtient par la formule : $2 \times d_1 \times d_2^2 / 3L$ dont :

D₁ : largeur de la section est egal à 70mm.

D_2 : longueur de la section est égal à 70mm.

L : longueur de l'éprouvette est égal à 280mm.



Photo III-06: Machine de flexion utilisée

III-6-4- La résistance à la traction par fendage sur éprouvette 110/ 220 mm est obtenue par cette formule :

$$\sigma = F / S \text{ dont : } S = \pi d \times L / 2$$

D: le diamètre de l'éprouvette cylindrique

L: la longueur de l'éprouvette



Photo III-07: Machine de traction par fendage utilisée

III-6-5- Essais D'auscultation Sonore (Ultra-Son):

Ultrason c'est un essai non destructif très important qui nous permet de détecter à la fois plusieurs caractéristiques du béton durci, tels que le degré de compacité, l'homogénéité, la résistance à la compression et le taux de fissuration, ...etc.

Le Principe d'utilisation des ultrasons Cet essai non destructif permet de déterminer la vitesse de propagation d'ondes longitudinales la quelle est d'autant plus élevée que le béton est plus dense donc plus résistant. Le principe de la méthode consiste à mesurer le temps mis par une onde à parcourir une distance connue.

L'appareil comprend avec capteurs mis en contact avec le béton, une distance connue) un générateur d'ondes un amplificateur un circuit de mesure du temps, et un affichage digitale et générateur d'ondes pour traverser le béton entre les transducteurs, la vitesse d'onde V , dans un milieu homogène, isotrope et élastique.

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasoniques et la résistance à la compression est affectée par un nombre de variables tels que l'âge du béton, les conditions

d'humidités, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats et la localisation des aciers et des fissures. Le contrôle par ultrasons permet, sans nuire à l'intégrité d'une structure, de caractériser les défauts qu'elle contient et de porter ainsi un jugement sur l'acceptation des pièces réalisées_[22].

III 6.5.1. Qualité Du Béton En Fonction Des Ondes Ultrasonique:

Qualité	Vitesse de propagation (m/ s)
Excellent	Supérieur à 4200
Bonne	3700 à 4200
Douteuse	3200 à 3700
Mauvaise	2500 à 3200
Très mauvaise	Inférieur à 2500

Tableau III-12: Qualité du béton en fonction de la vitesse et la propagation des ondes ultrasonique

III-6-5-2- Principe de mesure:

L'appareil ultra-sonique génère des ondes ou des impulsions "ultra-soniques" qui sont transmises au béton par un transducteur mis au contact avec la zone à évaluer.

Le temps de propagations des ondes à travers le béton est visualisé sur un afficheur digital de l'appareil.

Après tous ces ajustements il faut préparer les éprouvettes comme suit :

- Poncer et égaliser la partie de la surface des éprouvettes à ausculter où le transducteur sera fixé, cette étape est très importante pour que les transducteurs soient en contact avec le mortier.
- Préparer les point de mesures, cette opération consiste à marquer les point d'essai afin de centrer les transducteurs dessus.
- Employer un matériau intermédiaire entre les deux et en prenant soin de vérifier que l'appareil est bien appliqué contre la surface à tester à l'aide d'un matériau d'interposition.



Photo III-08: Appareil de test ultrasonique Pundit-Lab

III-7- Les essais de durabilité:

Les indicateurs de durabilité des bétons concernés dans cette étude sont :

l'absorption capillaire et la porosité accessible à l'eau .

III-7-1- L'absorption d'eau:

L'absorption d'eau à l'intérieur du béton sec est connue pour dépendre de deux paramètres majeurs la porosité effective du béton et la vitesse d'absorption par remontée capillaire (absorptivité).

L'essai d'absorption d'eau par capillarité est un essai qui nous donne une information sur la capacité d'absorption d'eau dans un béton par remontée capillaire. Il consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de béton préalablement conditionnée par un étuvage à 80°C.

Dans le but d'étudier l'absorption d'eau nous avons adopté un essai NF P 10-502 AFNOR 1990 nous avons utilisé des échantillons cubiques de (7×7×7)cm une face d'about de l'échantillon est

placée au contact d'une nappe d'eau à 1 cm de profondeur, les faces latérales sont imperméabilisées à l'aide d'un film plastique, la quantité d'eau absorbée est évaluée en mesurant la variation de masse de l'échantillon par des pesées successives des éprouvettes^[24].

Le coefficient d'absorption par capillarité CA est donné par la relation suivante : $M_1 - M_0 / A$

M_0 : Masse sèche de l'éprouvette avant immersion dans l'eau en grammes ;

M_1 : Masse de la même éprouvette après le temps requis d'absorption en grammes ;

A: Section de la base de l'éprouvette en centimètre carré.

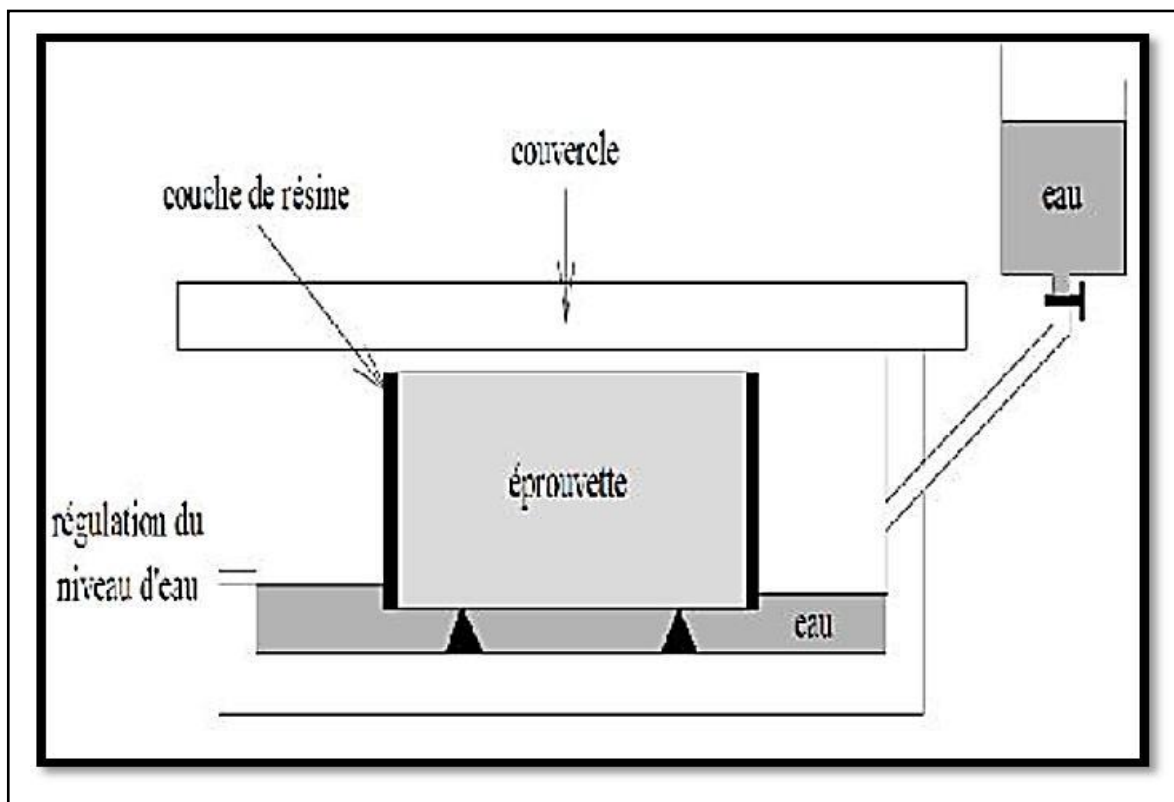


Figure III-04: Schéma du dispositif de la mesure de l'absorption d'eau par capillarité.



Photo III-09: Essai de l'absorption d'eau par capillarité

III-7-2- Porosité volumique du béton:

La porosité accessible à l'eau est un paramètre de premier ordre dans l'évaluation et la prévision de la durabilité. c'est en effet un indicateur de la qualité du béton. Il existe plusieurs méthodes d'évaluation de la porosité du béton parmi cette méthode, la norme ASTM désignation C642 Elle est calculée grâce à la différence de masse entre un échantillon à l'état sec et ce même échantillon à l'état saturé^{[25][26]}.



Photo III-10: Eprouvettes de différents bétons destinées à l'essai par pesée hydrostatique

➤Mode opératoire:

La procédure d'évaluation de la porosité est la suivante :

Les éprouvettes cubiques de dimension 10×10×10 cm sont séchées dans une étuve pendant 24heures, puis immergées dans l'eau pendant 48heures, l'échantillon est mis ensuite dans un bain d'eau bouillante pendant 5 heures. les éprouvettes sont retirées pour être pesées à l'air et à l'eau (pesée hydrostatique).

On détermine alors le volume total de l'éprouvette (fraction poreuse et solide)

$$P(\%) = (M_{\text{air}} - M_{\text{sèche}}) / (M_{\text{air}} - M_{\text{eau}}) \times 100\%$$

Avec :

- P: porosité volumique établie expérimentalement par pesée hydrostatique excluant le volume d'air piège et /ou entraîne (%)
- M_{air} : masse de l'éprouvette saturée, superficiellement sèche, pesée dans l'air.

- $M_{\text{sèche}}$: masse sèche de l'éprouvette
- M_{eau} : masse de l'éprouvette saturée superficiellement sèche pesée dans l'eau et déterminée par pesée hydrostatique

Conclusion:

D'après la formulation étudiée de Dreux Gorisse on a obtenu les résultats suivants:

- ✓ La détermination de dosage en ciment à 350kg/m^3 en fonction du rapport C/E d'une valeur 1.67 et de l'ouvrabilité désirée à 5cm.
- ✓ La quantité d'eau du gâchage nécessaire dans le béton est de l'ordre 217.96 l/m^3 pour un taux de E/C est fixe à 0.62.
- ✓ Les pourcentages des granulats utilisés dans les bétons sont comme suit ; 40% sable , 17% graviers 3/8 et 43% graviers 8/16. Le rapport entre gravier et sable G/S est égal 1.5
- ✓ La densité visée du béton frais environ 2.155 kg/m^3

.

Chapitre IV

Résultats & Discussions

IV-1- Introduction:

Dans la partie précédente, nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés, ainsi que la formulation des bétons qui doivent être étudiées.

Cette partie portera sur la présentation et la discussion des résultats des essais expérimentales sur les propriétés des bétons testés à l'état frais (maniabilité et masse volumique), sur les propriétés des bétons à l'état durci (masse volumique et résistances mécaniques) et la détermination des indicateurs principaux de la durabilité (porosité et absorption d'eau par capillarité et par immersion totale).

IV-2- Caractérisation à l'état frais:

IV-2-1- Masses volumiques:

Après démoulage, nous avons pesé les éprouvettes à l'aide d'une balance afin de calculer la masse volumique à l'état frais. Les résultats sont mentionnés dans le Figure suivant :

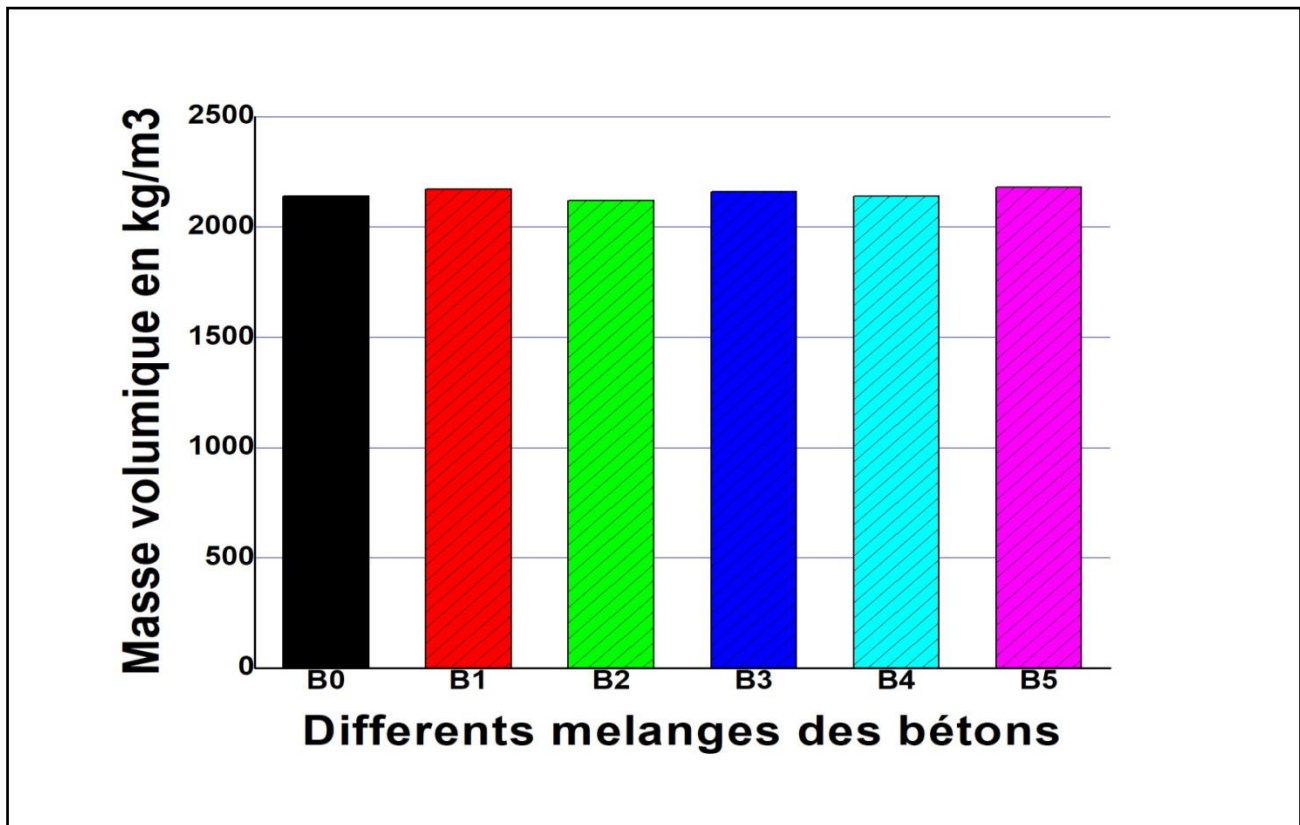


Figure IV-01: Histogramme de Masses volumiques des différents bétons a l'état frais

Sachant que :

B₀ : béton témoin contient de sable (100% recyclé).

B₁: béton contient de sable (100% louss).

B₂ : béton contient de sable (80% recyclé et 20% louss).

B₃: béton contient de sable (60% recyclé et 40% louss).

B₄ ; béton contient de sable (80% louss et 20% recyclé).

B₅: béton contient de sable (60% louss et 40% recyclé).

A travers les résultats présentés sur le Figure IV-01 on remarque que les bétons étudiés sont légèrement influencés par la nature des sables utilisés et les valeurs de la masse volumique à l'état frais sont proches, Cela peut s'expliquer par les masses volumiques absolues des sables utilisés (sables recycles et sables de louss) qui ont une même valeur qui est égal à 2.38 kg/m^3 . on peut justifier aussi la légère variation de densité de différent mélanges des bétons par le mode de vibration.

IV-2-2- Affaissement au cône d'Abrams:

Les résultats de l'affaissement au cône d'Abrams des bétons testés sont regroupés dans le Figure suivant :

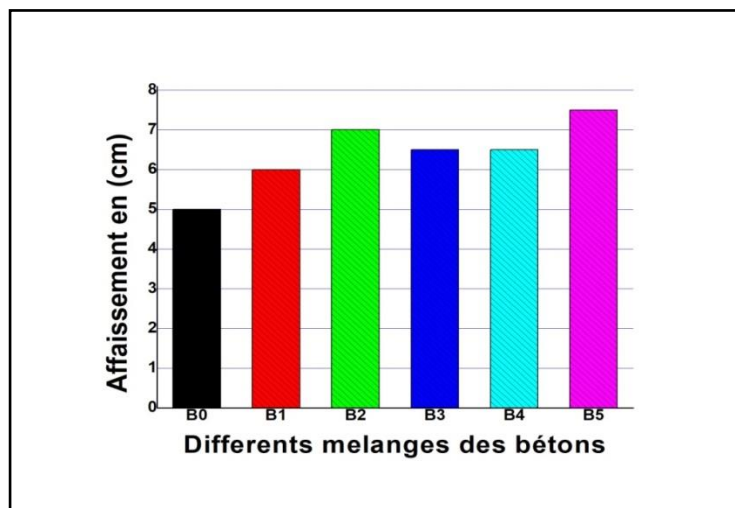


Figure IV-02: Histogramme Affaissements mesurés des différents bétons

D'après le Figure IV-02 les valeurs des affaissements obtenus montrent que tous les différents bétons présentent une consistance plastique. Les chercheurs (Barbudo et al2013) et (Fonseca et al2011) . ils ont observé que l'utilisation de granulats recyclés dans le béton n'a pas d'impact direct sur la maniabilité pour un même rapport E/C .

Le béton témoin avec un sable recyclé 100% présente une consistance minimale de 5cm .

Les autres bétons ayant des valeurs proches . Ces résultats s'expliquent par la nature et le module de finesse des sables utilisés, on remarque que plus le taux d'ajout du sable de lous est augmenté dans le mélange contient des sables recyclés plus l'ouvrabilité est augmenté .

IV-3- Caractérisation physico-mécaniques à l'état durci:

IV-3-1- Masse volumique:

La masse volumique du béton à l'état durci est mesurée à partir de la masse de l'éprouvette rapportée à son volume après 28 jours de durcissement selon la norme [NF EN 12390-7].

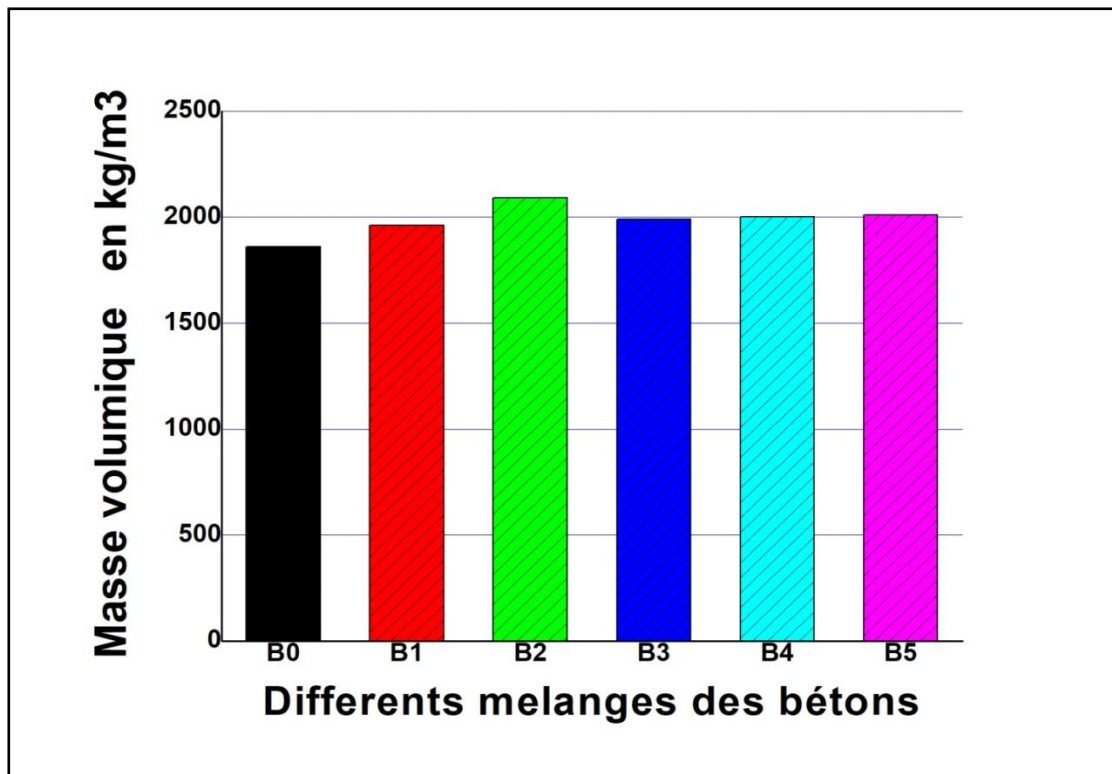


Figure IV-03: Histogramme Masses volumiques des différents bétons.

A l'état durci, d'après le Figure IV-03 on remarque que les bétons étudiés présentent différentes valeurs de masse volumique sans aucune différence significative Ceci s'explique par les masses volumiques intrinsèques des sables utilisés qui sont aussi proches.. Le béton témoin B_0 a base de sable recyclé 100% présente le béton le moins dense avec une masse volumique de 1860 kg/m^3 . Par contre la valeur la plus grande est celle de béton B_2 est égal 2090 .ces résultats sont relativement accordés avec l'air occlus de chaque béton qui nous donne 13% pour B_0 et 1% pour B_2 .

IV-3-2- essai Ultrasonique sur éprouvette cylindrique 11/22cm (essai non destructif):

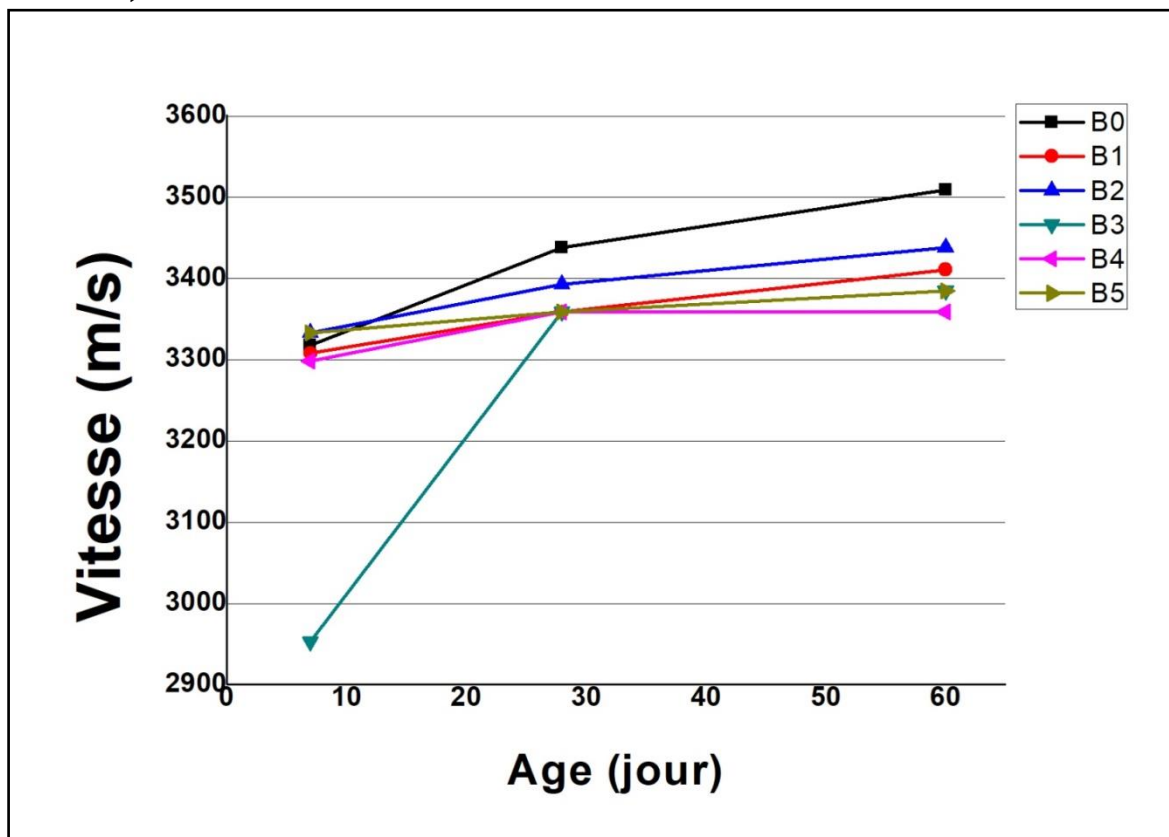


Figure IV-04: courbes de l'évaluation la vitesse de propagation du son

Les résultats obtenus montrent que tous les différents bétons sont classifiés parmi la qualité douteuse qui varie entre 3200 et 3700 .la vitesse ultrasonique dépend des volumes de porosité dans le béton. On remarque que les résultats de chaque béton est évolué par échéancier (7jrs, 28jrs et 60jrs) tandis que la meilleur résultat obtenu par le béton témoin B_0 suivi par le béton B_2 , B_1 , B_3 , B_5 et B_4 .

On retourne aux résultats de la masse volumique à l'état durci des mélanges des bétons on peut relever une Co-relation direct entre la densité et la vitesse ultrasonique de chaque béton. A l'exception le béton témoin B₀.

IV-3-3- Essai destructif:

IV-3-3-1- Essai de compression

Les résultats sont interprétés dans le tableau et schématisés sur les figures ci-dessous:

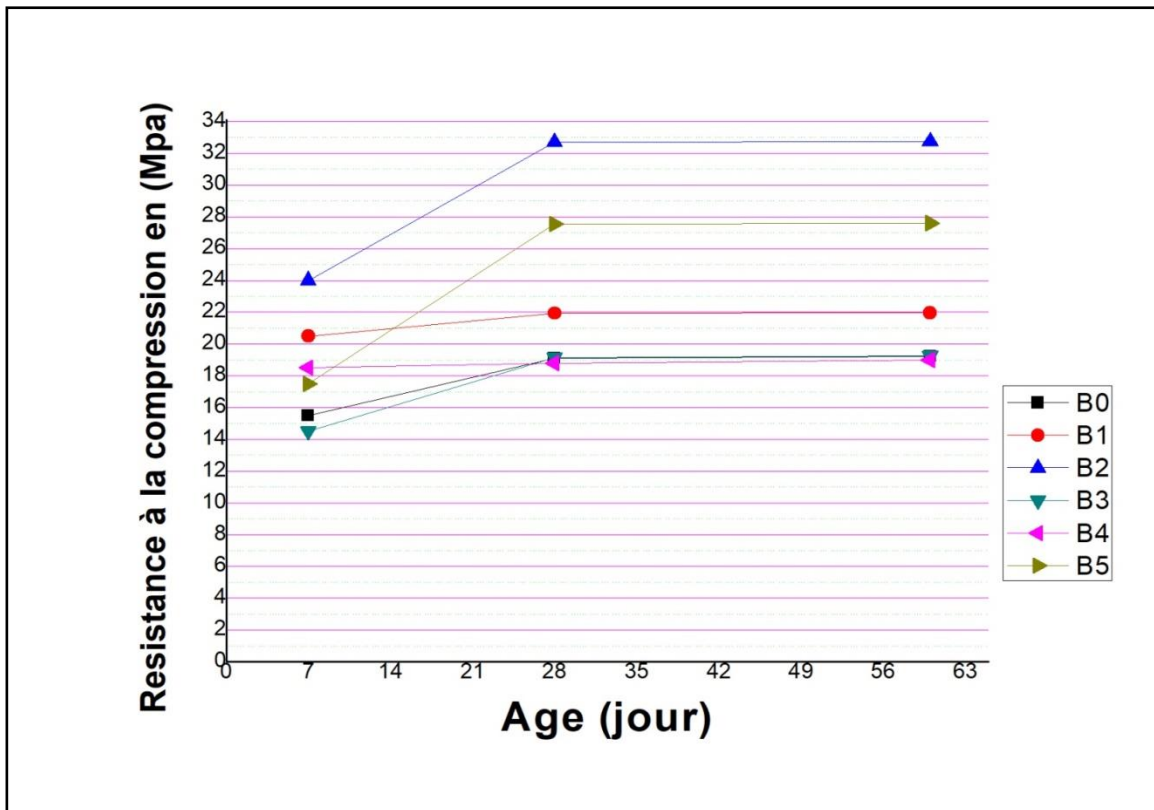


Figure IV-05: courbes de l'évaluation des résistances à la compression des différents bétons

L'analyse des résultats présentés sur la courbe montre que la nature des sables influe considérablement sur les résistances en compression des bétons étudiés, on constate une évolution progressive de la résistance par échéancier .

Les meilleures résistances sont obtenues avec le béton B₂ à base de 80% sable recyclé avec de 20% sable de louss, qui atteint une résistance de 32.74MPa cette valeur est dépassé celle vise dans notre étude (30MPa). suivi par le béton B₅ et béton B₁. on peut expliquer ces résultats par

l'augmentation de taux des sables louss introduit dans le mélange contient des sables recyclés qui fait diminuer la résistance. le béton témoin B_0 . Est moins de 1.7% de la grande résistance B_2

On conclure qu'il n'y a aucune relation entre la résistance à la compression et la vitesse ultrasonique.

IV-3-3-2- Essai de résistance à la traction Par flexion:

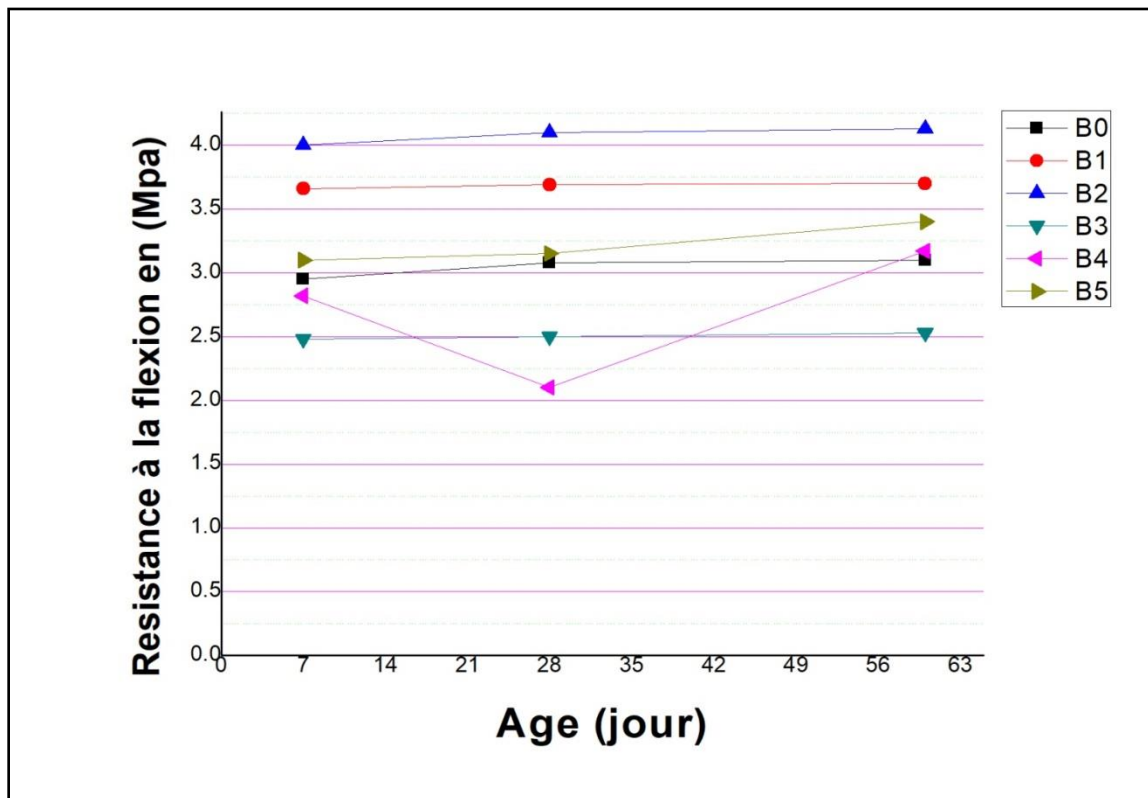


Figure IV-06: courbes de l'évaluation des résistances à la traction par flexion des différents bétons

L'analyse des résultats présentés sur la courbe montre qu'une évolution dans résistance à la flexion jusqu'à la dernière échéancier (60jrs) ce que prouve l'efficacité de taux d'introduction des sable de louss dans les mélanges des bétons .

Les meilleures résistances sont obtenues avec le béton B_2 constitue par 80% le sable recyclé avec 20% sable de louss, on peut constater que la variation des résistances à la flexion dépend de pourcentage des sable de louss . Cela veut dire une diminution du pourcentage des sables louss fait augmenter la résistance .

Les résistances les plus faibles sont celles des bétons avec 60% sable recyclé avec 40% sable de louss, suivi par le béton témoin B_0 .

IV-3-3-3- Résistance à la traction par fendage [MPa]:

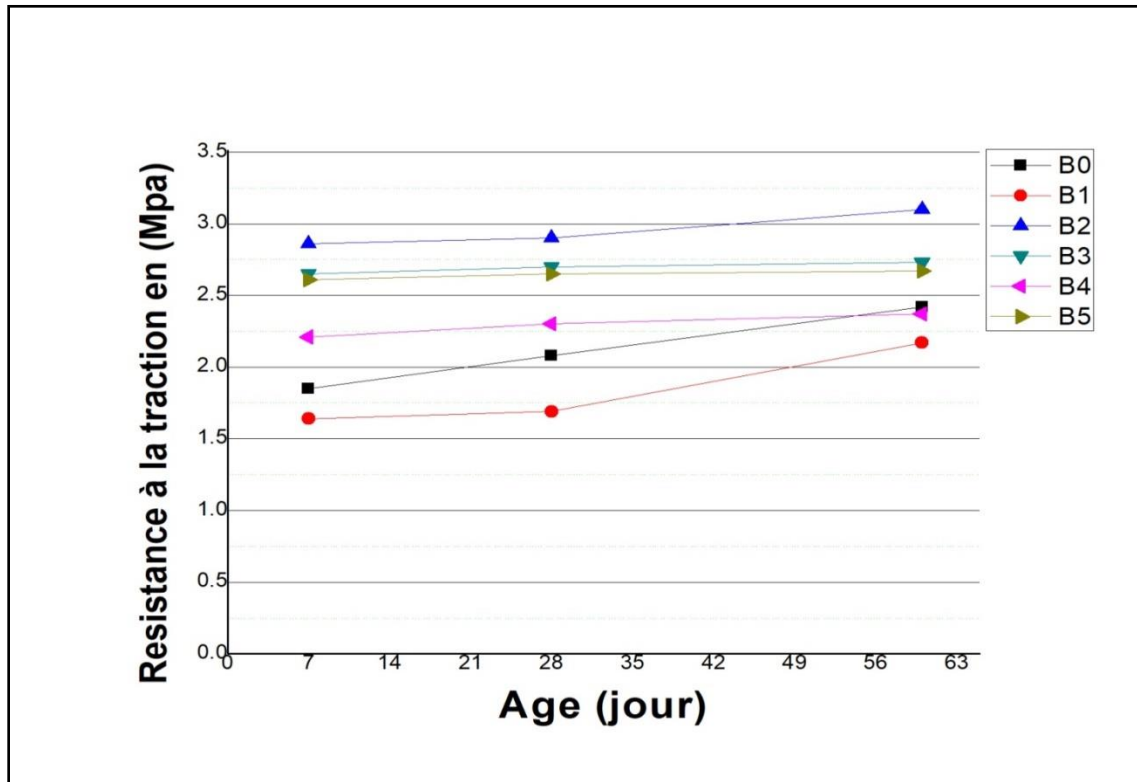


Figure IV-07: courbes de l'évaluation des Résistances à la traction par fendage des différents bétons

On remarque que la meilleure résultat obtenu pour le béton B_2 qui contient un mélange de sable 80% sable recyclé et 20% sable de louss et la plus faible et celle du béton B_1 (sable louss 100%). Les même remarques qu'on a relève pour la résistance à la flexion.

IV-4- Essais de durabilité (Aspect physique):

IV-4-1- Absorption d'eau par capillarité:

Cet essai nous donne une information sur la capacité d'absorption d'eau dans un béton par remontée capillaire.

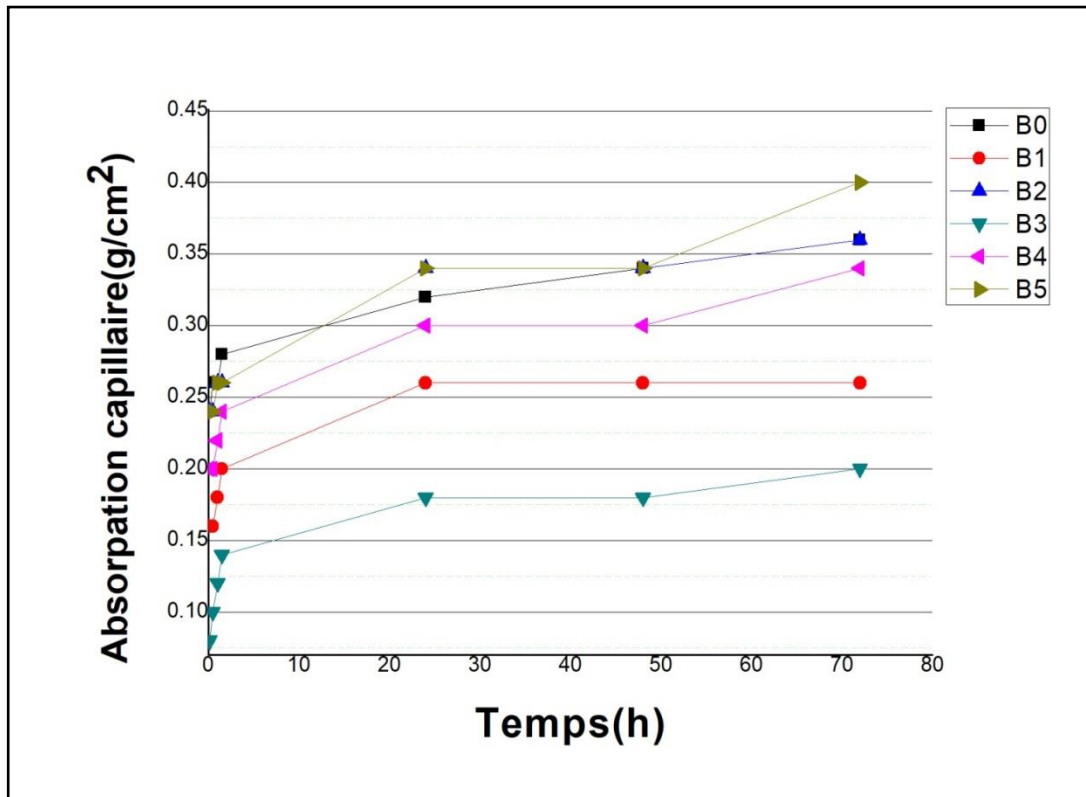


Figure IV-08: courbes de l'évaluation d'absorption capillaire à 7 jours des différents bétons

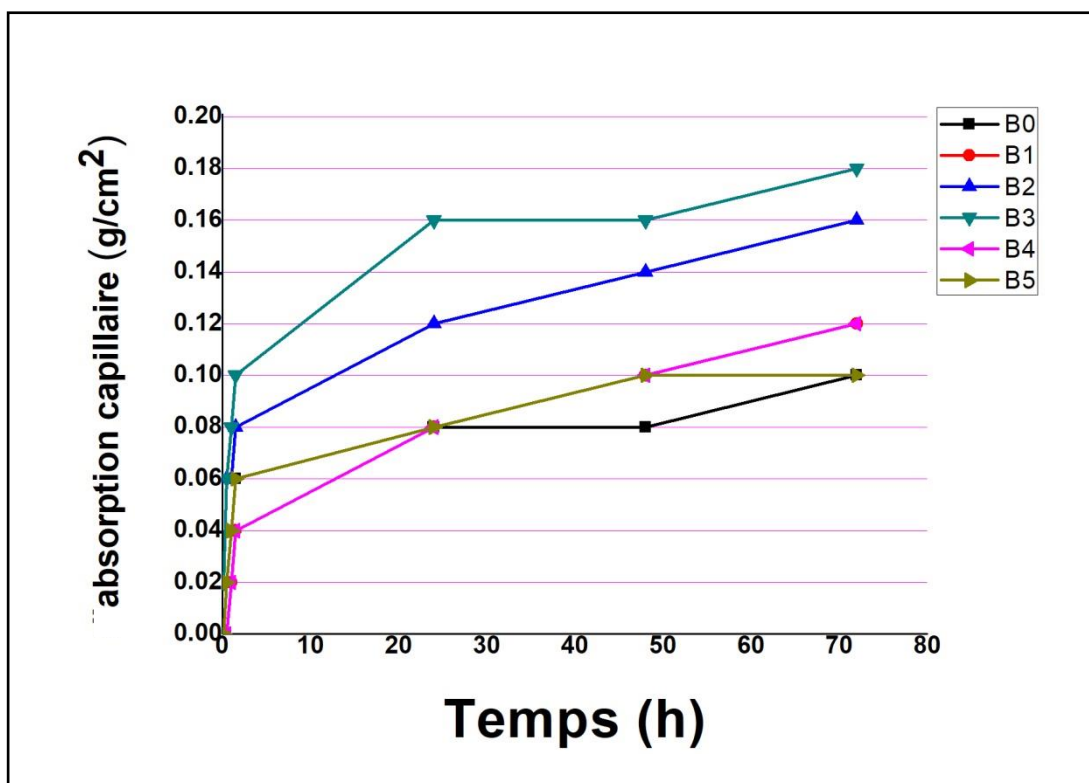


Figure IV-09: courbe de l'évaluation d'absorption capillaire à 28 jours des différents bétons

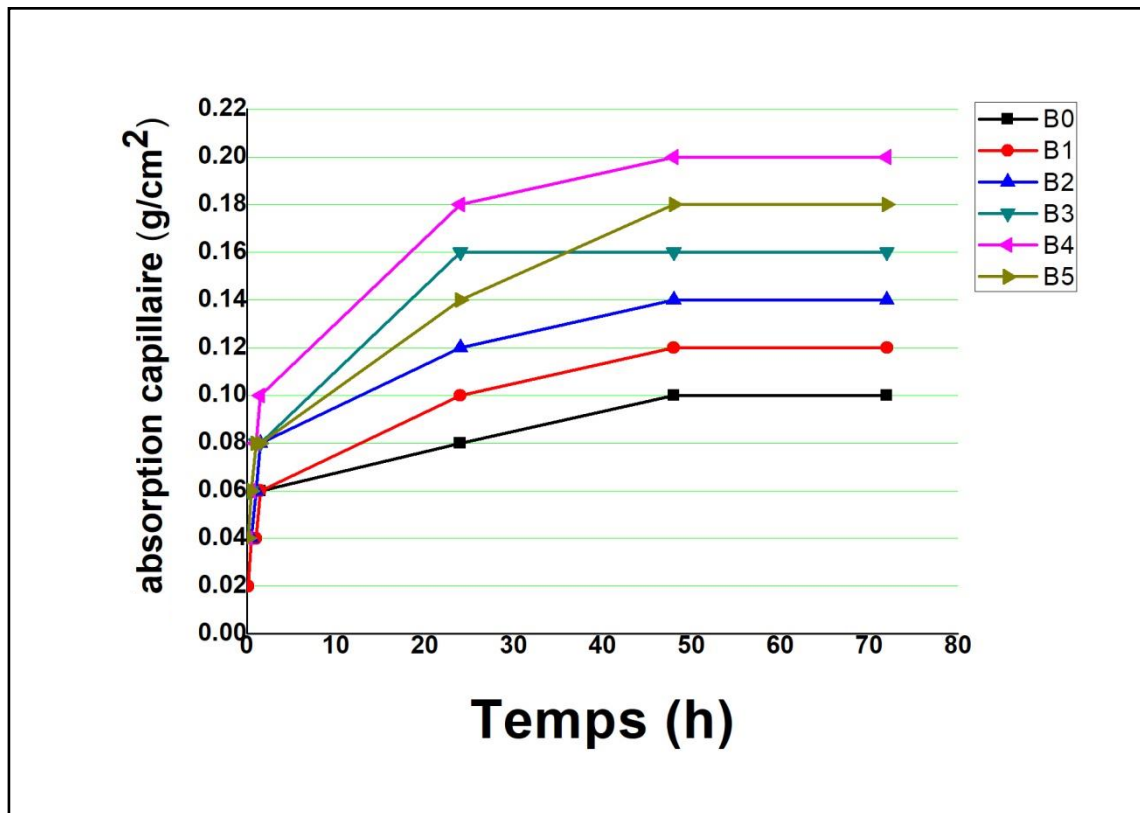


Figure IV-10: courbes de l'évaluation d'absorption capillaire à 60 jours des différents bétons

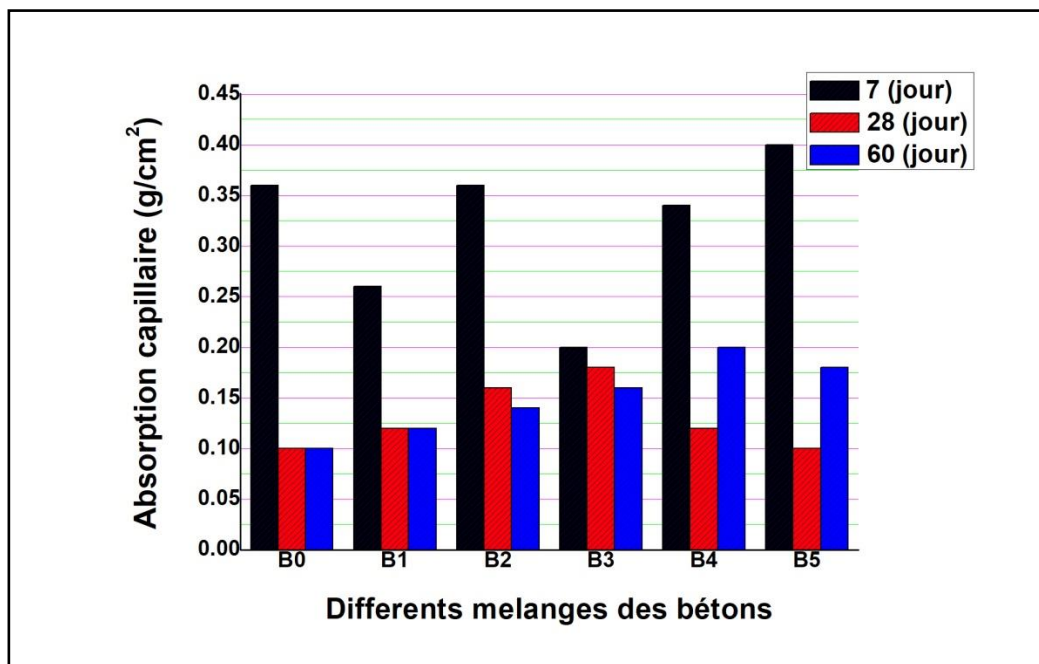


Figure IV-11: Histogramme de comparaison d'évolution de chaque béton par échéancier (pendant 3 jour)

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'allure d'absorption est très rapide pendant l'échéancier de 7 jours cette accélération est liée de l'hydratation de la pâte de ciment et la formation de c-s-h et on constate que les plus grandes valeurs sont marquées pendant trois jours par les bétons de types B₀, B₂ et B₅. Qui contiennent un taux plus élevé des sables recyclés respectivement de 100% , 80% et 40% Mais par la suite à 28 jours et 60 jours elle tend progressivement à se stabiliser : ceci a été remarqué pour toutes les compositions étudiées.

L'absorption d'eau par capillarité d'un béton à base d'un sable recyclé est importante : par ce que il contient des volumes de porosité dues à l'ancien mortier du ciment qui entoure les granulats primaires.

IV-4-2- La porosité accessible à l'eau:

Dénomination du béton	Poids à sec en (g)	Poids à l'air en (g)	Poids à l'eau en (g)	Porosité accessible
B ₀	1797	1895	794	8.9
B ₁	1930	2024	929	8.58
B ₂	1756	1879	774	11.13
B ₃	1773	1897	788	9.72
B ₄	1924	2027	897	9.11
B ₅	1949	2059	922	9.67

Tableau IV-01: La porosité accessible à l'eau à 28 jours

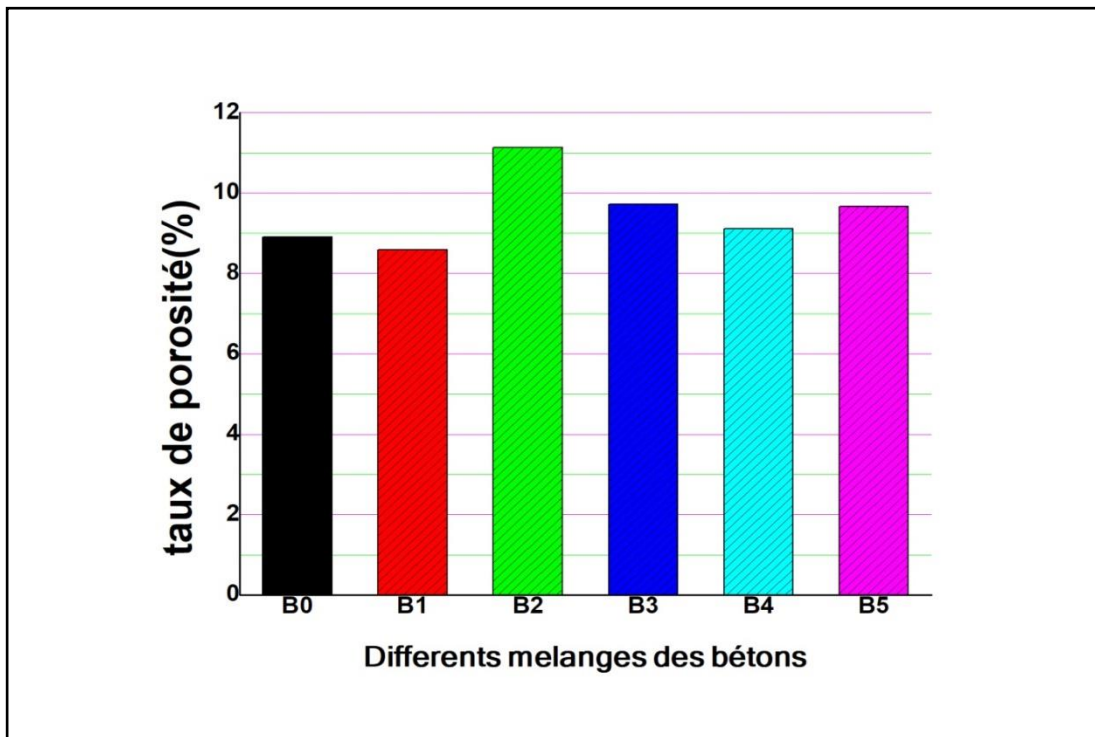


Figure IV-12: Histogramme La porosité accessible à l'eau à 28 jours.

D'après la pèse hydrostatique effectuée sur les échantillons, on constate que le meilleur résultat obtenu avec le béton à base 100% de sable de Louss. Ce résultat s'explique par le fait que ce béton est plus compact, c'est-à-dire qu'il contient moins de pores qui appartiennent probablement à une bonne répartition des agrégats (angulaire et rond). Par contre, pour les autres types de bétons contenant des sables recyclés, on remarque qu'il y a une variation entre le pourcentage de sable de Louss introduit et la pèse hydrostatique des échantillons testés. Lorsque le pourcentage est augmenté, il y aura une diminution de la porosité accessible à l'eau dans chaque type de béton.

Conclusion Et Recommendations

1- Conclusion:

D'après les résultats obtenus dans la partie expérimentale, on peut montrer d'une part l'influence de la nature du sable sur les propriétés du béton à l'état frais et à l'état durci.

L'étude du comportement du béton à base de différents mélanges de sables à montrer que :

- ☒ La combinaison des sables de louss avec des sables recyclés dans le béton influent sur l'ouvrabilité du béton : plus le pourcentage des sable louss est élevé plus l'affaissement est augmenté .

Concernant la masse volumique, on a enregistré une chute des masses de tous les bétons étudiés à l'état durci (diminution varie entre 8 à 13%).

- ☒ La plus grande valeur de la résistance en compression est obtenue par le béton à base de 80% sable recyclé et 20% sable louss qui reste assez supérieure à celle de béton témoin à base de sable 100% recyclé et des autres mélanges des bétons étudiés .
- ☒ Les résultats obtenus montrent que les différents bétons sont classifiés parmi la qualité douteuse qui varie entre 3200 et 3700. la vitesse ultrasonique dépend des volumes de porosité dans le béton.
- ☒ La plus grande valeur de la résistance en traction et en flexion est attribuée pour le béton à base de 80% sable recyclé et 20% sable louss qui reste toujours optimisée aux celles des autres bétons.
- ☒ L'absorption d'eau par capillarité d'un béton à base d'un sable recyclé est importante : et elle varie par le taux des sables recycles dans le mélange
- ☒ la valeur optimal obtenue pour l'essai de la porosité accessible à l'eau est celle du béton B₁ à base de 100% sable louss. Qui explique une moindre de porosité dans ce mélange des bétons.

.

2- Recommandation:

Quelques recommandations pour les futures recherches dans le domaine de valorisation des agrégats recyclés et leur utilisation dans le béton peuvent être dégagées par la suite de cette étude

- ☒ Dans notre cas à l'absence de centre de stockage et de recyclage des bétons démolis, l'étude expérimentale a été faite sur des matériaux récupérés et concassés manuellement. ce paramètre fondamental peut influencer sur les résultats souhaitables de n'importe quelle étude.
- ☒ Les granulats recyclés doivent être utilisés à 100% dans les bétons suivants: béton de propreté, gros béton et plate-forme on l'utilise aussi dans le domaine de travaux publics.
- ☒ L'ajout de sable fin dans le béton a donné des résultats qu'on peut améliorer sur le comportement physico-mécanique, cela qui nous permet d'approfondir les recherches sur ce genre de sables à savoir :
 - ❖ Développement d'autres essais de caractérisations.
 - ❖ Étude de la durabilité et notamment dans un milieu agressif.
 - ❖ Étude des caractéristiques acoustiques et thermiques.
 - ❖ Études de la résistance au feu.
 - ❖ L'influence des déchets du palmier (fibre organique).

Références

- [1] Agence national des déchets (AND)Rapport sur l'état de la gestion des déchets en Algérie exercice 2020.
- [2] BenAbdallahNadjet "recyclage et déchets "Mémoire de fin d' études master université Abou bakrbelkaid 2018/2019.
- [3] BelaibAhlem. "Etude de la gestion et de la valorisation par compostage des déchets organiques gènes par le restaurant universitaire aicha oumelmouminin "Mémoire de magister en écologie Constantine .
- [4] centre d'enfouissement de la wilaya d'ELoued Statistiques sur les déchets 2021
- [5] Hachemi Nadir et BoussaAdel "influence des différentes granulométries des sables sur le comportement mécanique du béton " Mémoire de fin d'études master université Mohammed Bougara Bumer. 2016/2017.
- [6] Naliett Karina Santa maria Diaz " Valorisation des granulats recyclés dans les bétons pour les pavages et trottoirs " Mémoire de maitrise spécialité génie civil étudié université de Sherbrooke Canada.
- [7] ANDRE- ROGER VOISIN LE SOUF MONOGRAPHIE Edition société EL-WALID 2003.
- [8] Gérard Breton Article sur Roses des sables.
- [9] R.DODET –S. FONTENY Synthèse des documents internationaux sur l'utilisation des granulats recyclés dans les bétons . : septembre 2015.
- [10] SMABTP Le recyclage du béton dans le béton naturellement dans le cadre projet national RECYBETON. publie le 16juin 2015.
- [11] Recueil des notices techniques(les adjuvants pour bétons et mortiers) Edition janvier 2018.
- [12] LamiraniAlouiyoucef et ElmouedenMoad Etude Bibliographique (Revue sur les essais normalises applicables aux granulats pour des applications du génie civil et positionnement de la modélisation granulaire sur ces essais) 2015/2016.

- [13] Safer Omar " Optimisation de la formulation d'éco-béton à base de sédiment de dragage"
Thèse de doctorat université Ibn Badis Mostaganem.
- [14] Dosage rapide sur site des sulfates dans les granulats recyclés issus du BTP (déchets sciences et techniques N0 71 octobre 2016).
- [15] Technologies un article sur (Durabilité des bétons par la maîtrise de l'absorption d'eau).
publie Novembre 2009.
- [16] Debieb Farid " Performance s et Durabilité du béton à base de granulats recyclés contaminés par les chlorures et les sulfates" Thèse de doctorat .
- [17] Revue française une publication sur (capturer et stocker de grandes quantités de co2 dans le béton recyclé).
- [18] François de Larrad et Horacio colina traduit de l'anglais par André Leconte. Ouvrages scientifiques le béton recyclé.
- [19] taharzerig et Kirdmohammedsalah "étude de la possibilité de recyclage du béton de démolition avec l'incorporation de fines de marbre" mémoire de fin d'études master université d' eloued .
- [20] Melle Echgueur responsable : Dr Ghomari Fouad Science des matériaux de construction (les granulats) université Abou BakrBelkaid.
- [21] Georges Dreux et Jean Fiestra. Nouveau guide du béton et ses constituants.
- [22] collections de l'ifsttar Méthodes d'auscultation du matériaux en place (auscultation sonore des bétons par ultrasons) octobre 2015 .
- [23] T. Djedid et alii, Frattura ed Integrità Strutturale Effect of varying silica-limestone sand fines on the physical-mechanical performance of concrete, 59 (2022) 580-591; DOI: 10.3221/IGF-ESIS.59.38

[24] DJEDID Tarek, "Modélisation des Matériaux et structures, par Effet de la substitution du sable de rivière par du sable de carrière sur la durabilité des bétons à base de différents ciments algériens dans des environnements chimiques." Thèse de doctorat université de Biskra

[25] T. Djedid et alii, *Frattura ed Integrità Strutturale*, Analysis of workability, mechanical strength and durability by the FT-IR method of concrete based on silica-limestone sand preserved in aggressive environments, 59 (2022) 566-579; DOI: 10.3221/IGF-ESIS.59.37.

[26] Journal of Fundamental and Applied Sciences ISSN 1112-9867 Available online at <http://www.jfas.info>. study of the workability and mechanical strength of concrete in the face of upwelling (case of the el oued region of algeria),