

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département Génie Civil

Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en génie civil

THEME

RECYCLAGE DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Réalisé par :

ATCHI Sofiane

BOUYAHIA Mohammed

Proposé et dirigé par :

M^R R.BOUTEMEUR

Chargé de cours à l'ENP

Promotion : juin 2006

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, nous remercions Dieu, le Tout Puissant, de nous avoir donné la volonté et le courage afin d'arriver à la finalité de ce modeste travail.

Ensuite, nous remercions nos parents qui nous ont beaucoup soutenus pendant toute la vie et qui continueront à nous aider dans tous les projets de l'avenir. Ainsi que tous les membres de nos familles qui ont participé de près ou de loin à nous encourager et nous aider dans notre projet.

Nous remercions très sincèrement notre promoteur, Monsieur R.BOUTEMEUR pour tout le savoir qui nous a apporté en 4^{ème} année ainsi pour nous avoir encadré et dirigé au cours de notre projet de fin d'étude. Aussi, pour tous les professeurs de l'ENP et sans oublier les étudiants de post graduation M. HARKATI et A. AICHAOUI.

Nous tenons à remercier toutes les personnes du laboratoire des matériaux à l'ENP et précisément Mr. Rachid et ceux de l'USTHB et LNHC pour les nombreuses explications qu'ils nous ont patiemment données, l'aide technique précieuse qu'ils nous ont apporté et en plus le grand bénéfice que nous avons tiré au contact de leur expérience.

Nos vifs remerciements vont à **GRANITEX** qui a mis à notre disposition les adjuvants nécessaires à la réalisation de nos essais.

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A ma très chère mère

A mon très cher père

A mes chers frères et mes chères sœurs

A toute ma famille.

A tous mes amis surtout "de classe Génie Civil, sur tous mon binôme BOUYAHIA Mohamed TAIBE, BENBRIH, KAMEL EL BLAM, ISHAK ADDENEN, NOUNOU, LES DEUX OMAR, TCHOUKTCHE, MESSAD, MADJID, BRAHIM, RADOUANE, HOCINE, MOLOUD, CHOUAIB, BEDJAOUI, CHERCHALI, BILEL, LAGRA, MEZIANE.

Soufiane

Dédicace

Je dédie ce travail.

A mes chère parents

A mes frères et mes soeurs

A ma grand-mère Khadouja

A toute la famille particulièrement

A mes cousins et mes cousines,

A tous mes amis de classe **Génie Civil**

Sur tout mon binôme ATCHI Soufiane

A mon chers amis MESSAD et Fethi et classe 3SA

A mes amis de la cité BOURAOUI Amar

A oulad el Houma (Beziouech).

A tous mes amis.....

Mohamed

ملخص

الهدف الرئيسي لهذه الدراسة هو تحليل إمكانيات استخدام مخلفات هدم البنايات (الخرسانة) كركام في صناعة الخرسانة. تتعلق الدراسة التجريبية بنوع واحد من الركام و المتمثل في خرسانة مكسرة. حيث تم استبدال جزئي إما للرمل وحده أو للحصى وحده (0، 20، 30، 40، 50%) أو للرمل و الحصى معاً، مع إضافة بعض الزوائد بنسب متفاوتة. درست خصائص الخرسانة في الحالة الطرية و الصلبة و قورنت مع خواص الخرسانة المصنوعة من ركام طبيعي كما قورنت خواص ركام المخلفات مع الركام الطبيعي. بينت هذه الدراسة إمكانية صناعة خرسانة اعتماداً على ركام من خرسانة الهدم و بخواص ميكانيكية مقبولة.

الكلمات المفتاحية: خرسانة, حصى, إعادة الاستعمال, المقاومة الميكانيكية.

RESUME

L'objectif principal de cette étude est d'analyser la possibilité de valorisation des déchets de démolition (béton) comme agrégats dans la fabrication du béton. L'étude expérimentale a porté essentiellement sur un seul type de granulats recyclés (de béton concassé). Une substitution partielle Selon divers pourcentage (0, 20, 30, 40, 50%) de gros agrégats, de granulats fins et combinaison de deux types avec des ajouts d'adjuvant ont été étudiées. Les propriétés du béton recyclé à l'état frais et durci sont analysées et comparées à ceux d'un béton ordinaire à base de granulats naturels. Les propriétés de granulats recyclés sont aussi comparées à celles des granulats naturels.

Les résultats de cette étude ont montré qu'il est possible de fabriquer un béton à base d'agrégats de béton concassé ayant des caractéristiques mécaniques acceptables.

Mots clés

Béton, agrégats, recyclage, valorisation, résistance mécanique.

SUMMARY

The main objective of this study is to analyse the possibilities of using demolition waste (concrete) as aggregate in making concrete. The experimental study concerns mainly one type of recycled aggregate (crushed concrete). A partial substitution of either coarse aggregate alone or fine aggregate alone (0, 20, 30, 40, 50 %) or a combination of both coarse and fine aggregates were used, with additives. Properties of fresh and hard concrete were investigated and compared to those of ordinary concrete with natural aggregates. Properties of recycled aggregates are also compared to natural aggregates.

The results of this study have shown that it is possible to use recycled crushed concrete aggregate in making concrete of acceptable mechanical properties.

Key-words

Concrete, aggregates, recycling, mechanical strength.

Table Des Matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des symboles	
INTRODUCTION	
Généralités	1
Les objectifs	1
Plan de travail	2
1- DECHETS DANS LE DOMAINE DE GENIE CIVIL	
1.1 -Introduction	3
1.2 -Définition	3
1.3 -Nature des déchets de bâtiment	3
1.4 -Caractéristique des flux	7
1.5 -Le plan de gestion des déchets de BTP	8
1.6 -Valorisation des déchets	9
1.7 -Recherches menées sur le recyclage des matériaux de construction	9
2- DESTINATION ET TRAITEMENT DES DECHETS DE CHANTIER	
2.1 -Destination	11
2.2 -Stratégies de traitement des déchets	12
2.3 -Utilisation des matériaux recyclés	14
2.4 -planification et leurs objectifs	14
2.5 -Matériel de production	15
2.6 -Situation des déchets de chantiers du bâtiment en Algérie	19
2.7 -Conclusion	20
3- CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX UTILISEES	
3.1 -Les agrégats	21
3.1.1 -Les agrégats naturel	21
3.1.2 -Les agrégats recyclés	22
3.1.3 -Les essais effectués sur les agrégats	23
3.1.3.1 –Granulométrie	23
3.1.3.2 –Module de finesse	29
3.1.3.3 –Equivalent sable	30
3.1.3.4 –Masses volumiques	31
3.1.3.5 –Compacité et Porosité des granulats	32
3.1.3.6 –Absorption d’eau	32
3.1.3.7 –Propreté	33
3.1.3.8 –Résistance mécanique : dureté	34
a) Essai d’abrasion Los Angeles	34
b) Essai d’usure Micro-Deval	34
3.1.3.9 –Analyse chimique	36

3.2 –Les fillers (addition minérale)	36
3.3 –Ciment	37
3.3.1 -Analyse chimique	37
3.3.2 -Essais physiquo-mécaniques	38
3.4 –Les adjuvants	38
a) –MEDAFLUID SF	39
b) –MEDAFLOW 30	40
3.5 -Eau de gâchage	40

4- FORMULATION ET CONFECTION DE BETON

4.1- Introduction	41
4.2- Méthodes de composition de béton	41
4.3- Méthode de DREUX-GORISS	42
4.4- Préparation des matériaux	45
4.5- Fabrication des éprouvettes	46
4.5.1- Equipements	46
4.5.2- Confection des éprouvettes	46
4.5.3- Incorporation du déchet	47
4.6- Modalité des essais	48
4.6.1- Ouvrabilité	48
4.6.2- Essai de résistance a la compression	48
4.6.3- Essai de résistance a la traction par flexion	49

5- ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

5.1- Etude du béton à base de gros agrégats recyclés	50
5.1.1- Consistance du béton du frais	50
5.1.2- Béton durci	51
5.1.2.1- La masse volumique du béton durci	52
5.1.2.2 –Résistance à la compression	52
5.1.2.3- Relation entre la résistance à la compression et la densité	54
5.1.2.4 –Résistance à la traction	54
5.1.2.5- Conclusion	56
5.2- Etude du béton à base de granulats fins recyclés	56
5.2.1- Consistance des bétons frais	56
5.2.2- Béton durci	57
5.2.2.1- La masse volumique du béton durci	57
5.2.2.2- Résistance à la compression	58
5.2.2.3- Résistance à la traction	60
5.2.2.4- Conclusion	61
5.3- Etude du béton à base des gros et fins granulats recyclés	62
5.3.1- Consistance des bétons frais	62
5.3.2- Béton durci	63
5.3.2.1- La masse volumique du béton durci	63
5.3.2.2- Résistance à la compression	64
5.3.2.3- Résistance à la traction	66
5.3.2.4- Conclusion	67

CONCLUSION ET RECOMMANDATION 68

Annexe

Liste des Tableaux

Tableau n°	Titre	Page
3.1	Analyse granulométrique du gravier naturel	25
3.2	Analyse granulométrique du gravier recyclé	26
3.3	Analyse granulométrique du sable recyclé	27
3.4	Analyse granulométrique du sable naturel	28
3.5	Valeur de l'équivalent de sable	30
3.6	Masse volumique des granulats utilisés	32
3.7	Compacité et porosité des granulats utilisés	32
3.8	Pourcentages d'absorption d'eau des granulats utilisés	33
3.9	Pourcentage d'impureté des granulats utilisés	33
3.10	Analyse chimique	35
3.11	Analyse chimique du ciment	37
3.12	Analyse physico-mécaniques du ciment	38
5.1	Rapport E/C et Slump teste des différents pourcentages de substitution en gros granulats recyclés.	51
5.2	Valeurs de E/C et densité du béton durci des différents pourcentages de substitution en gros granulats recyclés	52
5.3	Résistance à la compression des bétons recyclés à base de gros granulats concassés	53
5.4	Résistance à la traction des bétons recyclés à base de gros granulats concassés.	55
5.5	Rapport E/C et Slump teste des différents pourcentages de substitution en granulats fins recyclés	57
5.6	Valeurs de E/C et densité du béton durci des différents pourcentages de substitution en granulats fins recyclés	58
5.7	Résistance à la compression des bétons recyclés à base de granulats fins recyclés	59

5.8	Résistance à la traction des bétons recyclés à base de granulats fins recyclés.	60
5.9	Rapport E/C et Slump teste des différents pourcentages de substitution en granulats fins recyclés	63
5.10	Valeurs de E/C et densité du béton durci des différents pourcentages de substitution en granulats combiné recyclés	64
5.11	Résistance à la compression des bétons recyclés à base de granulats concassés combinés	64
5.12	Résistance à la traction des bétons recyclés à base de granulats concassés combinés	66

Liste des Figures

Figure n°	Titre	Page
1.1	Production des déchets par grands secteurs d'activités Industrielles	7
2.1	Stratégies de traitement des déchets	12
2.2	stratégies de gestion des déchets	14
2.3	Procédure de traitement des déchets de construction / démolition	16
3.1	Vue du Gravier naturel	22
3.2	Vue du sable naturel (SN) prise avec la vidéo microscope (×50)	22
3.3	Vue du Gravier recyclé (GR)	23
3.4	Vue du Sable recyclé (SR)	23
3.5	Courbe granulométrique de gravier naturel	26
3.6	Courbe granulométrique du gravier recyclé	27
3.7	Courbe granulométrique du sable recyclé	28
3.8	Courbe granulométrique du sable naturel	29
4.1	Courbes granulométriques des granulats naturel	44
4.2	Procédé de traitement de gravier recyclé par un liant hydraulique	47
4.3	Procédé de traitement de sable recyclé par un liant hydraulique	47
4.4	Procédé de traitement de gravier recyclé et sable recyclé par un liant hydraulique	48
4.5	Essai de compression	48
4.6	Essai de traction par flexion	49
5.1	Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de substitution en gros granulats de béton concassé.	53
5.2	Variation de la résistance à la traction en fonction du pourcentage de substitution en gros granulats de béton concassé	55
5.3	Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de substitution en granulats fins de béton concassé.	59
5.4	Variation de la résistance à la traction en fonction du pourcentage de substitution en granulats fins de béton concassé.	61

5.5	Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de substitution en gros et fins granulats de béton concassé.	65
5.6	Variation de la résistance à la traction en fonction du pourcentage de substitution en gros et fins granulats de béton concassé.	67

Liste d'abréviations et symboles

GN	Gravier naturel
GR	Gravier recyclé de béton concassé
SN	Sable naturel
SR	Sable recyclé de béton concassé
E/C	Rapport Eau sur Ciment
Rc	Résistance à la compression
Rt	Résistance à la traction
Adj	Adjuvant
A1	Adjuvant "MEDAFLUID"
A2	Adjuvant "MEDAFLOW"
P1	Pourcentage 1
P2	Pourcentage 1.2
BAG	Béton a base de gros granulats recyclés
BAF	Béton a base de granulats fins recyclés
BAGF	Béton a base de gros et fins granulats recyclés

Introduction

Généralités

Dans tous les pays du monde, le tissu urbain ne cesse de consommer des millions de tonnes de matériaux de construction et de produire en parallèle des millions de tonnes de déchets de démolition. Pour un futur plus sain et rassurant, les contraintes d'ordre économique et écologique de ces dernières années ont rendu nécessaires la valorisation et le recyclage des déchets. La disposition de décharge facilement accessible autour des grandes villes a diminué, les distances entre les sites de démolition et les surfaces de décharges publiques sont devenues plus grandes et des puniries critiques de bons agrégats naturels dans plusieurs surfaces urbaines.

D'après de nombreuses recherches européennes, il a été estimé qu'entre les années 80 et l'an 2002, chaque année trois fois plus de béton démolé sera généré et actuellement l'Europe produit chaque année 200 millions de tonnes de déchets de démolition et de construction.

En Algérie, suite à des sinistres naturels comme les séismes et les crues et par vieillissement et dégradations, des bâtiments publics, des ponts et des installations industrielles sont démolis mais jamais recyclés. L'industrie de construction génère aussi une quantité importante de déchets (briques et béton en particulier) qui est rarement valorisée. Aussi, l'Algérie connaît un déficit important en matériaux de construction et en particulier les agrégats et le ciment. De plus les ressources naturelles dans certaines régions comme Alger sont épuisées, le sable de mer interdit, les agrégats utilisés sont transportés de très loin, et les décharges publiques sont saturées. Malheureusement, les travaux de recherche sur la valorisation des déchets en bâtiment et travaux publics sont rares.

Les objectifs

Du fait de la limitation et l'épuisement, dans certaines régions comme Alger, des ressources naturelles d'agrégats, l'augmentation des coûts de transport et la pollution de l'environnement par les tonnages importants des déchets de démolition, il est indispensable d'étudier la possibilité de valorisation de ces déchets.

L'objectif de ce projet est de contribuer à la réutilisation des déchets de la démolition (béton) dans la fabrication du béton en étudiant les effets principaux des éléments incorporés.

Donc, le but principal de ce travail est la valorisation du béton de démolition comme agrégats en béton avec l'ajout d'un adjuvant par une meilleure connaissance du comportement

Introduction

du béton incluant les granulats recyclés issus des produits de démolition qui contribue au développement de cette application. Pour cela, trois études expérimentales, basées sur la substitution des agrégats naturels par des agrégats du béton de démolition, sont réalisées pour déterminer les propriétés du béton élaboré frais et durci. La première consiste à étudier un béton à base de gros agrégats recyclés; la deuxième à base d'agrégats fins et pour la troisième, un béton à base d'agrégats gros et fins.

Plan de travail

Le présent travail comporte cinq chapitres. Après une introduction générale et une présentation des objectifs de l'étude, le premier chapitre traite des différents types de déchets dans le génie civil et leur valorisation. Le chapitre deux présente la destination et le traitement des déchets de chantier et leur situation en Algérie. Les matériaux utilisés et les essais réalisés sont présentés dans le chapitre trois. Le chapitre quatre présente la formulation et la confection de béton. Le dernier chapitre présente les analyses et discussions des résultats. Une conclusion générale ainsi que les recommandations pour des futurs travaux sont données à la fin.

Déchets dans le domaine de Génie Civil

1.1- Introduction

Les chantiers de construction et de démolition du BTP génèrent une grande diversité de déchets. Aujourd'hui environ 90 % sont éliminés en décharge. Le recyclage impose des contraintes de tri et de collecte alors que les gisements sont dispersés, et que les procédés de démolition génèrent en général des déchets en mélange. Certains de ces déchets, en particulier les déchets minéraux, peuvent être réutilisés après tri et traitement particulier, dans la construction d'infrastructures routières

Dans ce chapitre, on définira les types de déchets de chantier du bâtiment et leur caractéristiques, ainsi que le plan de gestion des déchets de bâtiment et leur valorisation. On passera ensuite à l'utilisation des matériaux recyclés et recherches menées sur le recyclage des matériaux de construction.

1.2- Définition

Le «déchets» est défini comme tout objet, matériau ou substance dérivée des activités humaines ou des fonctions des corps des êtres humains ou des animaux domestiques et qui ne répond plus à l'objectif pour lequel, il était destiné et qui ne semble plus utile aux yeux de son propriétaire, pour une utilisation à d'autres fins. Il devient déchet quand son propriétaire décide de s'en débarrasser en le retournant à un milieu naturel (généralement l'eau ou le sol) ou en le remettant sous la responsabilité de la communauté, de la municipalité ou de l'entité de collecte des déchets.

1.3- Nature des déchets de bâtiment

Il existe quatre types de déchets qui répondent à des définitions très précises :

- **Les déchets Inertes (DI) :**

Les déchets inertes sont des déchets minéraux non pollués. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas au contact d'autres matières d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets proviennent des activités de construction, de réhabilitation (rénovation) et de démolition liées au secteur du bâtiment ainsi que des activités liées à la réalisation et à l'entretien d'ouvrages publics (routes, ponts, réseaux...).

Parmi les déchets inertes produits par le secteur du bâtiment on trouve les débris de :

- Béton
- Briques
- Tuiles
- Céramiques
- Carrelages
- Matériaux à base de gypse.

Pour le secteur des travaux publics, il s'agit principalement de cailloux, de terres et de déblais, ainsi que de déchets minéraux de démolition d'ouvrages d'art et de génie civil.

Les enrobés des activités routières sont, quant à eux, classés en fonction de leur composition (enrobés goudronnés, bitumineux, avec ou sans métaux lourds...) :

« Déchets inertes », « déchets dangereux » ou « déchets banals ».

Les déchets inertes issus des travaux de VRD (Voirie Réseaux Divers) sont les déblais de tranchées, de bordures de trottoirs, de pavés...

- **Les déchets Industriels Banals (DIB) :**

Déchets ni inertes, ni dangereux, générés par les entreprises dont le traitement peut éventuellement être réalisé dans les mêmes installations que les ordures ménagères : cartons, verre, déchets de cuisine, emballages...

Pour le secteur du Bâtiment, ce sont essentiellement :

- Les déchets de bois de natures et de compositions diverses - y compris certains bois traités

- provenant des coffrages, des palettes, des menuiseries, des cloisons, des planchers, des charpentes, des emballages... (hors ceux classés dangereux),
- Des déchets plastiques en PVC, polystyrène, polyuréthane, polypropylène (...), provenant des canalisations, des revêtements de sols, des menuiseries, des complexes isolants thermo-acoustiques, des complexes et des films d'étanchéité, des emballages...
- Des déchets de métaux ferreux et non ferreux: acier, fer, aluminium, zinc, cuivre (...) provenant du ferrailage du béton (voiles ou planchers), des réseaux électriques, des équipements de chauffage, des canalisations, des menuiseries, des planchers, des charpentes, des bardages, des toitures, des emballages...
- Des déchets textiles provenant en particulier des revêtements muraux et de sols (moquettes...),
- Des déchets de plâtre provenant des cloisons en plaques ou en carreaux, des doublages pour l'isolation thermique, des faux plafonds, des planchers, d'éléments de décoration...
- Des déchets de cartons provenant des cloisons, des portes, des emballages...

- **Déchets de chantier :**

Sont considérés comme déchets de chantier tous les déchets de construction ou de démolition :

Déblais non pollués provenant de travaux d'excavation, de découverte et de percement
Gravats, c'est-à-dire déchets de chantier minéraux constitués de pierres et d'autres matières minérales de même nature (briques, béton, tuiles, etc.)

Déchets de chantier incinérables (bois, carton, plastiques, textiles, etc.)

Déchets de chantier tout-venant, c'est-à-dire déchets de chantier mélangés contenant diverses matières telles que bois, métal, plastique et éléments minéraux.

Les gravats regroupent les catégories suivantes:

Matériaux bitumineux : terme générique désignant aussi bien le produit du fraisage à froid, couche par couche, d'un revêtement bitumineux que les morceaux résultant de la démolition de celui-ci.

Matériaux non bitumineux de démolition : matériaux provenant de la collecte, du défonçage ou du fraisage de couches de fondation non liées et de couches de support ou de fondation stabilisées aux liants hydrauliques.

Béton de démolition : matériau obtenu lors de la démolition ou du fraisage d'ouvrages ou de revêtements en béton armé ou non armé.

Matériaux de démolition non triés : mélange des fractions minérales provenant d'éléments de maçonnerie en béton, en briques de terre cuite, en briques silicocalcaires et en pierre naturelle.

- **Déchets de démolition :**

Une grande partie des déchets du bâtiment est composée de matériaux provenant de la démolition. La démolition va perturber l'environnement : bruit, poussière, et, surtout, énormes quantités de matériaux lourds et de grand format, se prêtant mal à la manipulation et qu'il faudra éliminer. Les matériaux d'une démolition conventionnelle sont mélangés et contiennent généralement des substances dont la séparation au niveau de l'installation de recyclage s'avère difficile - voire impossible (plâtre, bois traités, etc.) limitant de ce fait la qualité et les possibilités d'utilisation des matériaux recyclés. A savoir que la démolition conventionnelle s'effectue par :

- Expansion (éclateurs hydrauliques, vérins hydrauliques et gels ou mortiers expansifs).
- Explosion (explosifs à charge détonante, explosifs à charge découpant).

Or il est plus facile de valoriser un déchet non mélangé, c'est-à-dire non souillé par d'autres déchets qu'un mélange hétérogène. C'est pourquoi le tri à la source, lors de la démolition est le plus intéressant. Il faut parler alors de déconstruction. Le non mélange est indiscutablement la meilleure méthode. Bien sûr, cela implique une nouvelle conception du déroulement de la démolition ainsi que le choix de nouvelles solutions pour le chargement, le transport et l'entreposage des catégories non mélangées de déchet. Il s'agit avant tout d'un problème d'organisation, d'éducation du personnel, de suivi du chantier et, bien entendu de prix de revient.

- **Autres déchets**

❖ Les déchets hospitaliers infectieux et toxiques, pour lesquels se posent les problèmes de tri, de collecte, de conditionnement et d'élimination. Certaines structures hospitalières sont dotées d'incinérateurs, mais ils ne sont pas tous opérationnels ;

❖ Les médicaments et les produits phytosanitaires périmés, pour lesquels se pose le problème d'élimination.

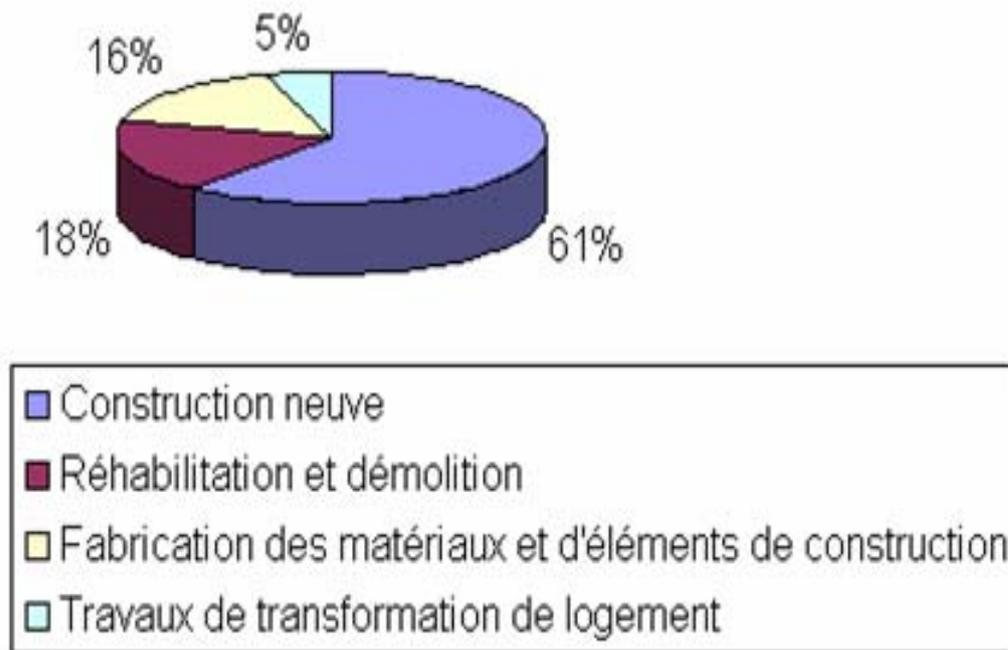


Fig. 1-1 : production des déchets par grands secteurs d'activités Industrielles en Algérie.

1.4 -Caractéristique des flux

Les experts considèrent que les caractéristiques du flux de déchets de construction et démolition (C&D) se définissent plus facilement par le biais des activités entraînant la formation de ces déchets, à savoir les travaux de C&D, ainsi que les travaux préparatoires correspondant sur le site même [1].

1.4.1 -Les activités recensées génératrices sont :

- travaux de construction et d'aménagement de bâtiments;
- travaux d'infrastructure du génie civil;
- travaux d'infrastructure de transport;

- rénovation, réhabilitation et entretien régulier;
- démolition.

1.4.2 -Les facteurs influant sur la composition des déchets de C&D :

- matières premières disponibles;
- produits disponibles,
- culture et pratiques locales;
- développement technologique;
- activité économique et climat.

1.4.3 -Les techniques et habitudes de gestion des :

- promoteurs;
- concepteurs, constructeurs, entrepreneurs;
- propriétaires, utilisateurs et directeurs des installations;
- entreprises assurant la valorisation, le transport et l'élimination des déchets;
- fabricants et fournisseurs de produits de construction;
- associations professionnelles;
- administrations régionales et locales.

1.5 -le plan de gestion des déchets de BTP

Les maîtres d'ouvrage et les professionnels du BTP ont la responsabilité de l'élimination des déchets du BTP. En France, l'Etat a choisi de leur apporter une aide par l'élaboration d'un plan départemental des déchets du BTP comprenant [1] :

- Une quantification des déchets
- Un recensement des filières de traitement existantes et prévues avec leur capacité
- Une détermination des installations nouvelles nécessaires
- Des mesures d'accompagnement concernant le rôle de l'état dans les marchés publics, la mise en place d'outils d'information, la recherche de réduction des déchets à la source,...
- La définition d'une structure de suivi et d'évaluation du plan.

L'établissement du plan a donné lieu à la création d'une Commission présidée par la préfecture rassemblant des représentants de l'Etat, des établissements publics dont l'ADEME,

des représentants des professionnels du BTP, des représentants des carriers et des professionnels du déchet, des représentants des collectivités territoriales et des représentants des associations et d'un comité de pilotage issu de cette commission [1].

1.6 -valorisation des déchets :

Les déchets de chantier sont constitués à 80% environ de composants minéraux, transformables en matériaux recyclés une fois libérés des déchets combustibles (bois, plastique, etc.), des métaux et éventuellement de constituants nocifs (fines ou composants suspects).

Le bois est valorisable comme tel (p.ex. dans l'industrie comme panneaux agglomérés) ou thermiquement (dans des installations industrielles de combustion appropriées).

Le tri systématique de tous les éléments valorisables (gravats, bois, métaux, plastiques purs, carton, textiles, etc.) permet de réduire au minimum les déchets à incinérer ou à mettre en décharge [1].

1.7 –Recherches menées sur le recyclage des matériaux de construction

En vue de la valorisation des matériaux issus de la démolition des immeubles en les recyclant, plusieurs travaux de recherche ont été élaborés dans ce contexte. En Algérie, et en collaboration avec le ministère de l'enseignement supérieur est de la recherche scientifique, ainsi que quelques organismes nationaux tel que le Centre National d'Etudes et de Recherches Intégrées en Bâtiment, et dans le cadre d'un Programme National de Recherche qui porte sur la «Valorisation des déchets de construction » certains chercheurs ont répondu à cette requête: Comme Mr DBEIBE [4] qui a travaillé sur la valorisation des agrégats (gros, et fins) recyclés, les résultats obtenus montrent clairement que la résistance mécanique des bétons recyclés chute en fonction du pourcentage de substitution en granulats recyclés (gros, et fins) et au cours du temps. A 28 jours, la chute de résistance par rapport à celle du béton ordinaire est de l'ordre de 10 à 20% pour béton de gros granulats concassés, de 10 à 30% pour le béton de fins et arrive à 35% pour le béton de gros et fins. Une autre recherche similaire au niveau de l'ENP montre nettement que la résistance mécanique à 28 jours des bétons à base des agrégats recyclés (gros, fins, et combinés) baisse sensiblement au fur et à mesure de l'augmentation de la teneur en agrégats recyclés, et même par l'ajout d'un adjuvant superplastifiant les résultats restent semblables. De plus Mr BELAGRAA [25] a trouvé que l'ajout d'un pourcentage de l'ordre de 1% de l'adjuvant superplastifiant au béton à base de gros agrégats recyclés donne un résultat similaire à celui d'un béton ordinaire.

En Belgique le centre scientifique et technique de la construction (CSTC), est à l'origine d'un projet exemplaire de la valorisation des déchets en matériaux recyclés pour la construction, qui s'intitule Le projet RECYHOUSE. Cette construction exemplaire d'un bâtiment-témoin qui a nécessité cinq années de travail sur le site de la station expérimentale à Limelette, intègre un peu plus de 150 matériaux venant de toute l'Europe fabriqués de débris de construction et/ou de la valorisation des déchets ou sous-produits issus d'autres secteurs industriels. L'objectif du projet est de démontrer qu'il est possible d'édifier un bâtiment presque uniquement au moyen de matériaux recyclés répondant aux exigences d'une construction moderne, sans nécessairement nuire aux performances finales, ni augmenter le coût de la construction [6].

L'entreprise Raisch products, de San Jose en Californie, a proposé une nouvelle approche du recyclage des débris de construction et de démolition avec la mise sur pied d'un parc écologique abritant une diversité de recycleurs de déchets de construction et de démolition servant de poste de transformation et de réutilisation des matériaux de construction qui proviennent des municipalités, comtés et des propriétaires [7].

Destination et traitement des déchets de chantier

Introduction

Les pratiques actuelles de sélection et de valorisation amènent à traiter à part, les bétons de démolition de bâtiments ou d'ouvrages d'art, les matériaux issus de démolition de couches de chaussée en grave non traitée et en matériaux traités aux liants hydrauliques, dans certaines régions, les sols sous chaussée et les déblais de tranchés présentent de bonnes caractéristiques de propreté, qui permettent de les introduire dans les mêmes circuits de recyclage et de valorisation.

2.1 -Destination

2.1.1 -Les matériaux réutilisés sur place :

- Matières et sols déblayés;
- asphalte provenant du rabotage des chaussées.

2.1.2 -La valorisation hors site

❖ **peut être préférée pour les raisons suivantes :**

- contraintes du programme des travaux sur le site;
- problèmes d'environnement (bruit, poussière);
- exigences techniques;
- nécessité de réaliser des économies d'échelle.

❖ **peut être effectuée de deux façons:**

2.1.3 -recyclage/valorisation matière s'applique surtout aux matériaux suivants :

- des bétons;
- de l'asphalte;
- de la maçonnerie et des pierres;
- des métaux;
- des sols et
- du bois.

2.1.4 -réutilisation/réemploi s'applique surtout aux matériaux suivants :

- des parpaings, des briques, des tuiles;
- des portes et des articles de serrurerie;
- des cheminées;
- des revêtements de sol;
- des charpentes et structures métalliques et des fenêtres [1].

2.1.5 -L'incinération avec ou sans récupération d'énergie :

Elle concerne une partie relativement restreinte (en poids) des déchets de C&D à savoir :

- le papier;
- le bois;
- les matières plastiques et les emballages.

2.1.6 -Mise en décharge

En Europe, une proportion importante des déchets de C&D est actuellement mise en décharge. Elle comprend de nombreux déchets susceptibles d'être valorisés. Néanmoins, le groupe d'experts estime dans certains cas la mise en décharge de déchets de C&D acceptable, par exemple :

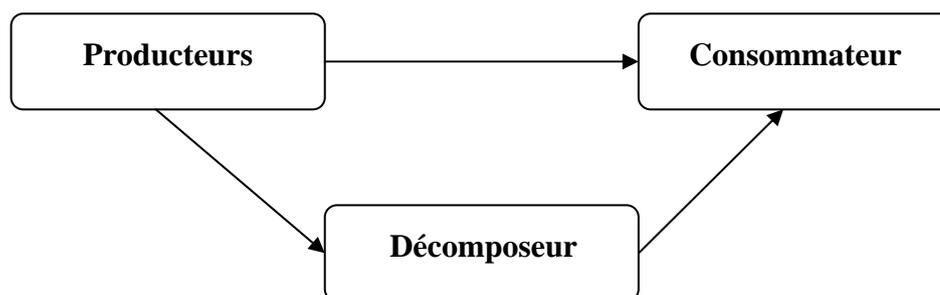
- Pour l'aménagement des décharges (notamment la préparation de voies de chantier et de couches de couverture pour recevoir d'autres déchets);
- Pour la réhabilitation de sites d'extraction de minerais et
- Lorsqu'il n'existe pas de marché pour les matériaux valorisés [1].

2.2 -Stratégies de traitement des déchets

Les stratégies de traitement des déchets s'appuient sur deux grands principes.

❖ il faut prendre en compte simultanément les notions de *matière*, *d'énergie*, *d'environnement* et *d'économie* .au plan plus particulier de l'environnement, il y a lieu de bien considérer l'ensemble de l'impact des déchets sur l'environnement et l'impact possible de la mise en œuvre de chaque stratégie.

❖ Dès lors que ces stratégies ont pour objectif le retour des déchets dans le milieu naturel, il y a lieu de s'inspirer des lois qui régissent le fonctionnement de ce milieu. ces lois existent à travers les cycles biogéochimiques qui régissent la circulation des éléments chimiques dans les différents milieux physiques (eau, air, sol) et les espèces vivantes (végétaux et animaux). Au niveau de ces dernières, il faut retenir qu'elles assurent la circulation de la matière à travers la trilogie.



Sur ces deux principes, la gestion des déchets passe par cinq stratégies possibles.

1. Arrêt de la production du déchet ou du produit générateur de déchet.

Les problèmes, souvent liés à l'impact sur l'environnement ou à la santé humaine, peuvent conduire à la nécessité de cesser l'activité à l'origine de la production de tel ou tel déchet.

2. Optimisation et innovation technologique.

Réduire la quantité de déchets ou en produire de moins polluants relève du domaine des technologies et des produits propres. Cet objectif peut être atteint progressivement au niveau de la minimisation des rejets et de l'optimisation de l'utilisation des matières premières et de l'énergie par le recours à la dépollution dans un premier stade et à la non-pollution dans un second stade. La non-pollution peut être le résultat de l'optimisation du procédé, de sa modification, voire d'un changement de procédé.

3. Mise en œuvre d'une politique de recyclage, de valorisation et de réutilisation des déchets de la production et de la consommation.

C'est dans ce domaine que se situe l'essentiel des possibilités de gestion et de traitement des déchets.

4. Rejet « écoresponsable » des déchets.

Cette notion est fondamentale. Dès lors qu'aucune des trois premières stratégies n'est envisageable, il y a lieu d'assurer un retour « acceptable » des déchets produits dans le milieu naturel. L'acceptabilité, ou écoresponsabilité, peut être définie par le fait que des déchets sont intégrés aux cycles biogéochimiques sans entraîner de dysfonctionnements prévisibles ou identifiables. Cet objectif peut être atteint soit par des voies de valorisation (réutilisation du déchet comme amendement en agriculture par exemple), soit après transformation chimique ou conditionnement.

5. Stockage.

Il arrive, et c'est le cas des déchets ultimes, que la solution du stockage sûr, dans ou sous le sol demeure le recours inévitable. C'est toute la stratégie de l'*enfouissement technique* qui constitue, au regard de l'impact sur l'environnement, un secteur clef de la gestion des déchets. Il est aussi celui autour duquel se focalise l'essentiel des réticences psychosociologique.

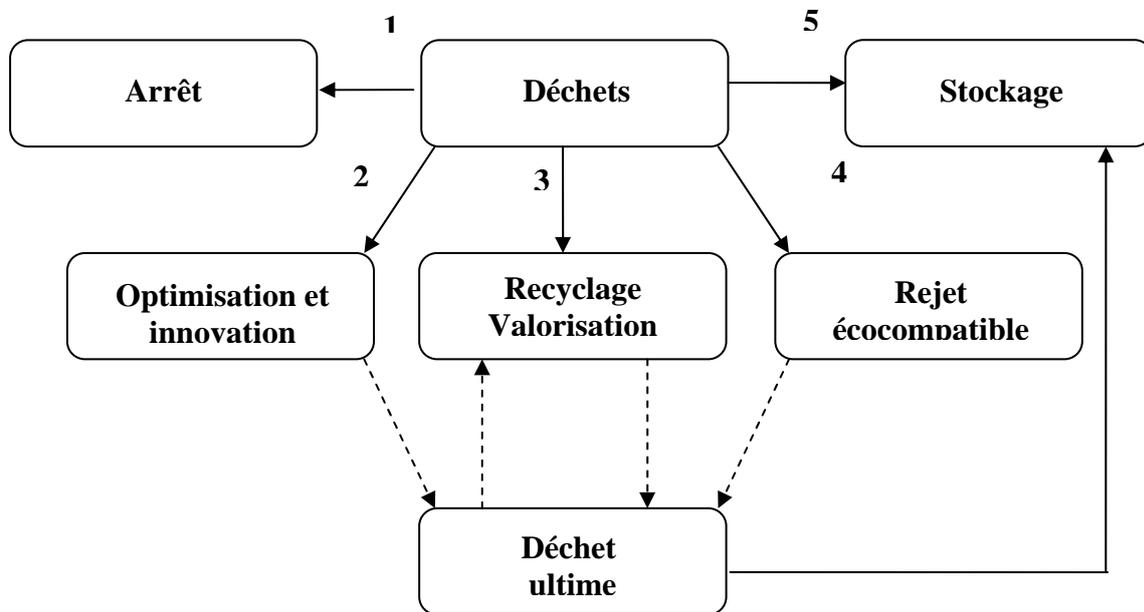


Fig. 2-2 : stratégies de gestion des déchets [8].

2.3 -Utilisation des matériaux recyclés

Les granulats recyclés sont généralement utilisés comme matériaux de construction. A cet effet, en Europe plusieurs cahiers des charges types ont été modifiés pour accepter ces produits de recyclage : Dans la plupart des cas, les produits de recyclage des déchets de construction et de démolition sont utilisés dans des remblais, sous-fondations, bétons maigres et éventuellement pour les concassés de débris de béton et d'enrobés hydrocarbonés en fondation de routes. Notons encore qu'en France une certification des granulats recyclés sera bientôt possible à obtenir pour les centres qui en feront la demande, dès que le projet de prescriptions techniques spécifiques préparé sous l'égide du CRIC-certification sera adopté. Actuellement, seul le processus de production des matériaux recyclés peut obtenir une certification (COPRO).

2.4 -planification et leurs objectifs

• En matière de prévention :

Le plan prévoit de continuer à mener des actions de sensibilisation à la " déconstruction " et

de susciter l'utilisation pour les constructions nouvelles de matériaux facilement démontables et recyclables mais aussi de garantir la réutilisation effective des produits issus du recyclage.

Le moyen pour y parvenir est l'établissement d'un cahier des charges précis dans le cadre des travaux de démolition en incitant le tri et le recyclage (métré d'évacuation).

Les travaux sont déjà initiés dans le cadre de la Commission chargée de préparer la fusion prochaine des cahiers des charges-types 300 et w10.

Le plan prévoit également d'étendre en 1998 les dispositions des marchés publics aux marchés privés concernant le décompte des déchets de chantier.

• En matière de recyclage/valorisation.

L'objectif est d'arriver à une capacité de traitement des centres de recyclages d'environ 1.500.000 tonnes pour l'an 2000, soit 75 du gisement en terme de capacité.

Le plan prévoit de continuer à encourager le développement de techniques de recyclage et de la demande de matériaux recyclés.

La finalisation et le développement continu des prescriptions de normalisation sous l'égide du CRIC certification fait également partie des objectifs du Plan.

Le plan se fixe enfin pour l'an 2000 la création, en appui des centres de recyclage, de centres de regroupement répartis de façon géographiquement équilibrée sur le territoire de la Région.

Des installations mobiles travailleraient dans ces centres à intervalles réguliers.

La province du Luxembourg, aujourd'hui quelque peu défavorisée par l'implantation des centres de recyclage pourrait par ce biais assurer un débouché autre que la mise en C.E.T. aux déchets de construction et de démolition générés en son sein et les autres Provinces pourraient ainsi augmenter leur capacité d'accueil en diminuant les distances nécessaires aux transports des déchets.

• En matière d'élimination

Le plan prévoit de décourager la mise en CET de matériaux pour lesquels il existe une filière de valorisation matière via un système de taxation dissuasif et d'inciter à la réutilisation et à la valorisation matière mais également d'opérer des contrôles plus strictes afin que les déchets soient effectivement orientés vers les installations autorisées.

2.5 -Matériel de production

La production de granulats recyclés se base en générale sur trois types :

- installation fixe : Installation avec un ou plusieurs concasseurs, une assez grande capacité.
- Installation semi-mobile : Installation transportable avec un ou deux concasseurs.
- Installation mobile : Petite installation transportable avec un concasseur d'une faible capacité.

Le traitement des déchets de construction / démolition est résumé dans la figure suivante :

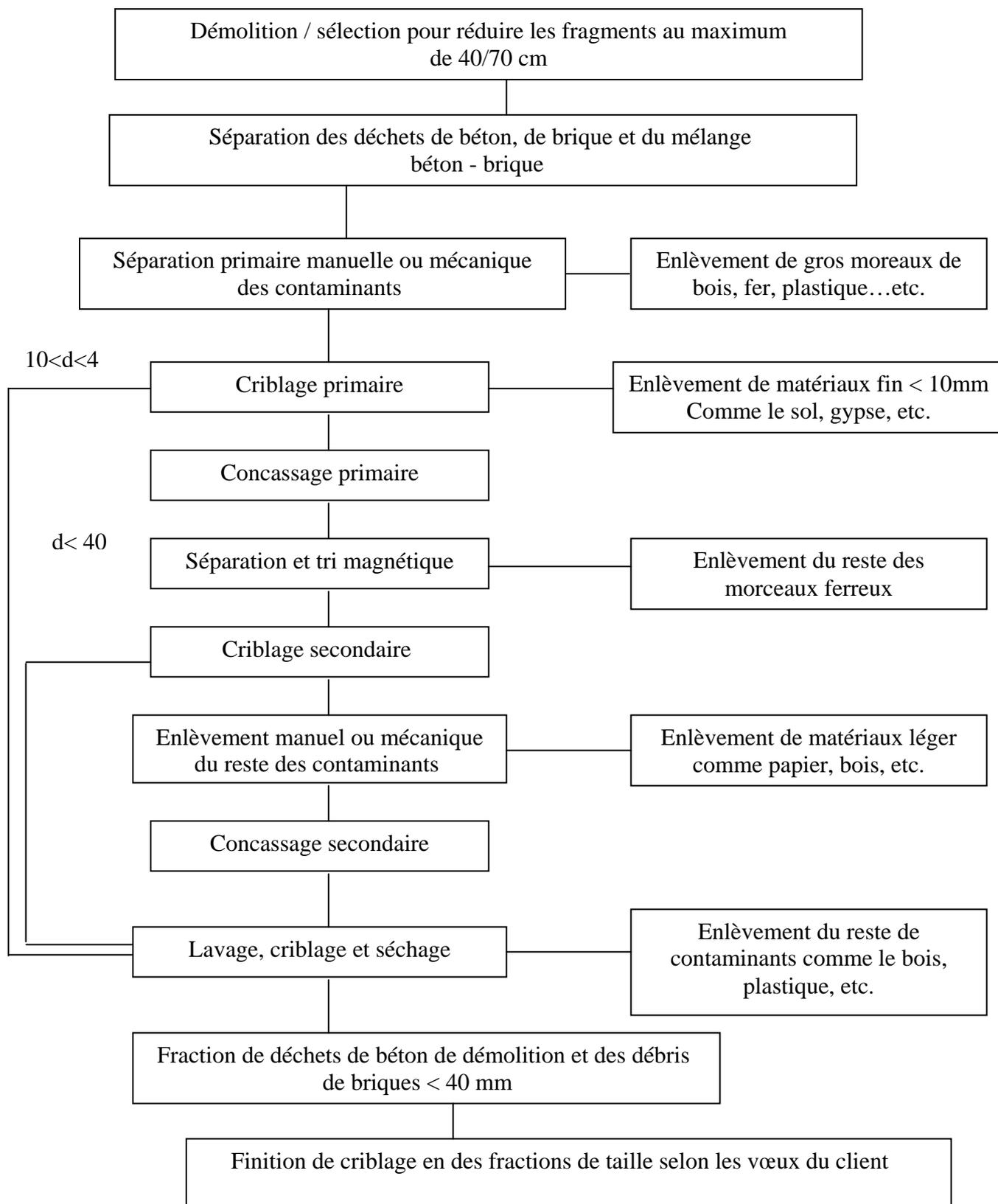


Fig. 2.3 : Procédure de traitement des déchets de construction / démolition [9]

Pour une centrale de recyclage – concassage type, les différents équipements sont donnés ci après :

a) Les concasseurs

Pour la fragmentation des déchets, différents types de concasseurs peuvent être envisagés.

○ **Concasseurs à mâchoires**

Avec ce type de concasseurs, le matériau est cassé par pression entre les deux machines, une fixe et l'autre en mouvement. Ces concasseurs ont tendance à produire des agrégats de forme plate.

○ **Concasseur à marteaux**

Il réalise la fragmentation des matériaux par percussion sur des matériaux articulés sur un ou deux rotors tournant à grande vitesse. Lorsqu'il est utilisé comme concasseur primaire, la hauteur entre courroie d'alimentation et l'axe de rotor est réglable.

○ **Concasseur à percussion**

Un rotor équipé d'un certain nombre de barre d'impacte, projette les matériaux à grande vitesse contre les parois de la chambre de broyage garnie latéralement des plaques d'usure et de deux encolures en acier haute résistance. Les agrégats sont produits par choc et éclatement, ils sont de ce fait très dur et de faible calibre avec une importante quantité de fins (jusqu'à 40% de particules < 6 mm).

○ **Concasseur giratoire**

Le concasseur opère par écrasement du matériau entre un cône giratoire. Le mouvement à l'intérieure de la chambre de broyage est commandé par un arbre excentrique, ce qui rapproche par le dessous de la machine. La dimension maximale du matériau est limitée à 200 mm environs. Sans métal ni bois, cet équipement peut être utilisé comme concasseur primaire et produit des agrégats de forme cubique et une quantité moyenne de fins (< 20%).

○ **Concasseur à cône**

Ce concasseur fonctionne selon le même principe que le concasseur giratoire, Ici un cône tronqué se met autour d'un axe excentrique dans un marteau qui a la forme d'un cône tronqué inversé, de telle sorte que l'espace n'agrandit à nouveau, les petits morceaux tombent par la fente. Ici également, le marteau à concasser doit être exempt d'acier.

b) Les systèmes de criblage

Les granulats sont mieux séparés sur des cribles inclinés vibrants à basses fréquences, au contraire des matériaux fins qui sont séparés plus efficacement sur des cribles horizontaux vibrants à hautes fréquences.

c) Les méthodes de séparation des impuretés**o Alimentateur grizzly (scalpage)**

On peut déjà au départ, enlever une grande partie des matières terreuses et des fins contaminantes en alimentant le concasseur primaire à partir d'un grizzly crible transporteur vibrant. Cet alimentateur qui est plus efficace lorsqu'il travaille par étage.

o Séparateur magnétique

Un très puissant aimant permanent enjambe la courroie transporteuse. Il est équipé d'une courroie à lettres contre lesquelles se plaquent les métaux ferreux qui sont ainsi écartés de la voie du concasseur pour tomber à côté de l'installation lorsqu'ils quittent le champ magnétique de l'aimant. Ce système ne fonctionne que pour les métaux ferreux.

o Séparation manuelle

Elle a l'avantage majeur de pouvoir éliminer les éléments indésirables qui ne sont pas facilement séparables par d'autres moyens, il s'agit notamment du verre, des morceaux d'isolants plats, du feutre bitumé, les fils électriques gainés, etc. par contre elle nécessite du personnel en permanence et le rythme de production doit être adapté à leur vitesse de travail (par exemple, arrêt momentané de la bande transporteuse si trop d'éléments indésirables passent en même temps).

o Séparation du bois

Un crible spécial destiné à enlever le bois peut être placé entre le concasseur primaire et le premier crible. Ce séparateur possède des trous perpendiculaires aux flux des matériaux et vu la forme des particules de bois concassés. Celles-ci restent sur le crible tandis que les matériaux ferreux tombent à travers les trous. Cet équipement permet d'éliminer environ 70% du bois se trouvant dans les agrégats.

o Séparation par lavage

Il s'agit d'une courroie transporteuse sur laquelle est maintenu un niveau d'eau dans le sens opposé à son avancement. Les matériaux légers flottent et sont éjectés par le débit

d'eau alors que les matériaux plus lourds continuent le circuit. Ce procédé a l'avantage d'éliminer la grande majorité des éléments indésirables ou de fournir un granulats très propre. Par contre il produit une grande quantité de boue qui doit être traitée.

2.6 -Situation des déchets de chantiers du bâtiment en Algérie

En Algérie, des bâtiments publics, des immeubles et des ponts sont démolis après des sinistres naturels comme les séismes et les crues ou par le vieillissement et les autres actions. Les matériaux de démolition sont, pour l'instant, rarement recyclés. L'industrie de construction génère aussi une quantité importante de déchets (briques et béton en particulier) qui sont rarement valorisés. Les quantités générées par la démolition et les déchets de chantier restent inconnues. Cependant, l'Algérie connaît un déficit important en matériaux de construction et en particulier les agrégats et le ciment. Le déficit entre l'offre et la demande en granulats est de l'ordre de 10% ces dernières années, et dépassera les 20% de la production en l'an 2000. Selon les mêmes projections, la production passera jusqu'à 38,5 millions de m³ d'ici l'an 2000 alors que la demande grimpera jusqu'à 53,5 millions de m³ durant la même période [10].

Au cours de la deuxième moitié de ce siècle et en 1980, la ville algérienne d'EL Asnam (Chlef actuellement), a été secouée par deux tremblements de terre intenses qui l'ont quasiment réduit en un énorme tas de gravats. En 1981, l'expérience acquise par la Belgique en matière de recyclage des déchets de construction et de démolition a permis au CSTC (Centre scientifique et Technologique de la construction) de proposer aux autorités algériennes d'effectuer une étude sur les possibilités de recyclage des décombres de la ville. Alors, face à quelques milliers de bâtiments (38% des bâtiments) qui devaient être démolis et par suite l'évacuation de plusieurs centaines de milliers de tonnes de débris, l'opération pilote de recyclage menée par la recherche du CSTC a démontré qu'il a été possible de recycler les débris en blocs de construction de qualité convenables [10].

Il faut aussi noter le manque de politique de gestion des déchets en général et les déchets non ultimes en particulier et de leur valorisation. Selon les informations disponibles aucune étude de valorisation des déchets de construction ou de démolition comme agrégats en béton n'a été réalisée 1982 en Algérie [10].

2.7 -Conclusion

Le respect de notre environnement passe par une meilleure connaissance de ces déchets, des règles et des outils à notre disposition pour mieux les gérer.

Chapitre 2: Destination et traitement des déchets de chantier

La plupart des déchets provenant de la construction et de la démolition peuvent se prêter à une réutilisation, ou à un recyclage dans la construction, il s'agit notamment des matériaux de remploi (brique tuiles, poutres,...) des produits de déblai, des gravats (morceau de béton, de briques) pour bien gérer des déchets et pour éviter les décharges qui dénaturent le paysage par conséquent économiser les ressources des matériaux nous sommes obligés à recycler et à réutiliser dans les BTP.

Caractéristiques des matériaux utilisés

Introduction

La confection du béton selon les normes appropriées nécessite la connaissance des caractéristiques des différents constituants, afin d'avoir un béton conforme à ces normes. Ce chapitre sera consacré à l'étude et à la détermination des propriétés des constituants du béton sur le quelle porte notre étude, à savoir les granulats (naturel ou recyclé).

Pour le besoin de l'étude, on a jugé important d'utiliser quatre types de granulats :

- Gravier naturel (GN) 8/15
- Gravier recyclé (GR) 8/15 : produit par le concassage de deux poutres (1,80x0,16x0,18m) de béton original composée de gravier et de sable naturel fabriquée en laboratoire.
- Sable naturel (SN) 0/3 provenant de ZEMOURI.
- Sable recyclé (SR) 0/5 produit par le concassage de deux poutres (1,80x0,16x0,18m) de béton original composée de gravier et de sable naturel fabriquée en laboratoire.

La production des deux types de granulats (GR) et (SR) est obtenue par le concassage manuel à l'aide d'un marteau de deux poutres en béton armé au niveau du laboratoire (L.C.E) à ENP.

3.1 –Les agrégats

3.1.1 -Les agrégats naturels

3.1.1.1 -Gravier (GN) 8/15 : Gravier naturel carrière ELHACHIMIA de forme concassée.



Fig 3.1 : Vue du Gravier naturel (GN)

3.1.1.2 –Sable (SN) 0/3 : sable naturel de mer (provient de ZAMOURI)



Fig 3.2: Vue du sable naturel (SN) prise avec le vidéo microscope (×50)

3.1.2 –Les agrégats recyclés

Les agrégats recyclés sont obtenus par le concassage de deux poutres de béton à haute performance (BHP) sa composition pour 1 m³ est donné comme suit :

- le dosage en ciment est de 450 Kg /m³.
- Le laitier avec dosage de 14% C.
- Adjuvant ; le MEDAFLUID SFR avec dosage de 1.2% C.
- Le rapport E /C égale à 0,36.

- Gravier 8/15 (carrière de JOBER) 841.773 Kg.
- Gravillon 3/8 (carrière de JOBER) 210.442 Kg.
- Sable 0/5 685.475 Kg [14].

3.1.2.1 –Gravier (GR) 8/15

Fig 3.3: Vue du Gravier recyclé (GR)

3.1.2.2 –Sable (SR) 0/5

Fig 3.4: Vue du Sable recyclé (SR)

3.1.3 –Les essais effectués sur les agrégats**3.1.3.1 –Granulométrie****-Objet de la norme**

La présente norme a pour objet de définir les granulats et leur classification d'après la dimension de leurs grains et de fixer la méthode à suivre pour l'analyse et le tracé de la

courbe granulométrique, cette étude à été réalisée conformément à la norme NF P 18-560 (Sept 1990) [15].

-Domaine d'application

La présente norme s'applique aux granulats utilisés dans le bâtiment et les travaux publics, destinés notamment aux usages routiers ou à la confection des bétons de construction et dont la granularité est déterminée par tamisage.

-Le tamisage

L'analyse granulométrique par tamisage s'effectue au moyen d'une série de tamis d'ouvertures normalisées. Les particules à tamiser sont d'abord séparées par lavage. Les grosses particules sont ensuite fractionnées au moyen des tamis. La fraction de sol sec retenue par chaque tamis (refus) est pesée. Le pourcentage massique de refus est obtenu par le rapport de la masse du refus et de la masse totale initiale sèche du matériau. Le pourcentage massique de tamisât est égale à au complément du pourcentage massique de refus (100-pourcentage massique de refus). La variation du pourcentage massique de tamisât est tracée en fonction du logarithme décimale de la maille du tamis. Une échelle logarithmique de la maille du tamis est plus convenable pour représenter adéquatement l'étendue des valeurs de la dimension de la particule.

-Courbe granulométrique

On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamisats sous les tamis dont les mailles D sont indiquées en abscisse selon une graduation logarithmique.

La forme de la courbe granulométrique représente la distribution de la dimension de la particule. Cette distribution peut être qualifiée d'uniforme si les dimensions des particules sont voisines. La courbe granulométrique est caractérisée par deux coefficients:

-Le coefficient d'uniformité C_U

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

-Le coefficient de courbure C_C

$$C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$$

Avec

d_{10} : Diamètre moyen des grains correspondant à 10% passant par poids

d_{30} : Diamètre moyen des grains correspondant à 30% passant par poids

d_{60} : Diamètre moyen des grains correspondant à 60% passant par poids

La distribution des dimensions des particules est dite

-bien graduée si le coefficient d'uniformité est supérieur à 10 ($C_U > 10$)

-étalée si le coefficient d'uniformité est supérieur à 2 ($C_U > 2$)

-uniforme ou serrée si le coefficient d'uniformité est inférieur à 2 ($C_U < 2$)

-Analyse granulométrique

a) Gravier naturel (GN) 8/15

Poids total = 1500 g

Tableau 3.1: Analyse granulométrique du gravier naturel

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Tamisât (g)	Tamisât (%)
20	0	0	1500	100
16	110	110	1390	86.66
12.5	620	730	770	51.33
10	440	1170	330	22
8	280	1450	50	3.33
6.3	40	1490	10	0.66
5	6	1496	4	0.26
f	4	1500	0	0

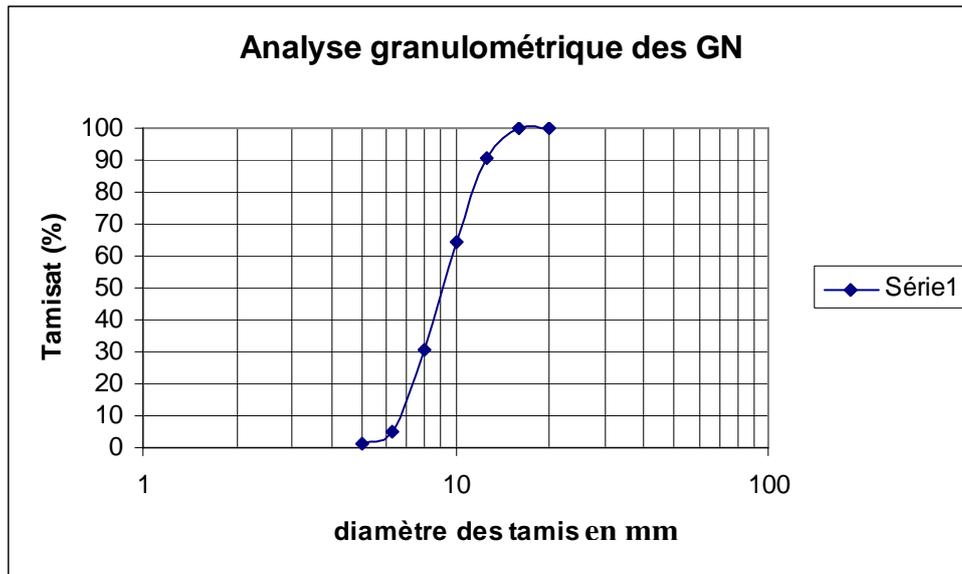


Fig 3.5: Courbe granulométrique de gravier naturel

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 1.58$$

Tan que $C_u \leq 2$ alors la distribution des dimensions des particules est dite uniforme.

b) Gravier recyclé (GR) 8/15

Poids total = 1500 g

Tableau 3.2: Analyse granulométrique du gravier recyclé

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Tamisât (g)	Tamisât (%)
20	0	0	1500	100
16	0	0	1500	100
12.5	144	144	1356	90.4
10	390	534	966	64.4
8	510	1044	456	30.4
6.3	383	1427	73	4.86
5	58	1485	15	1
f	15	1500	0	0

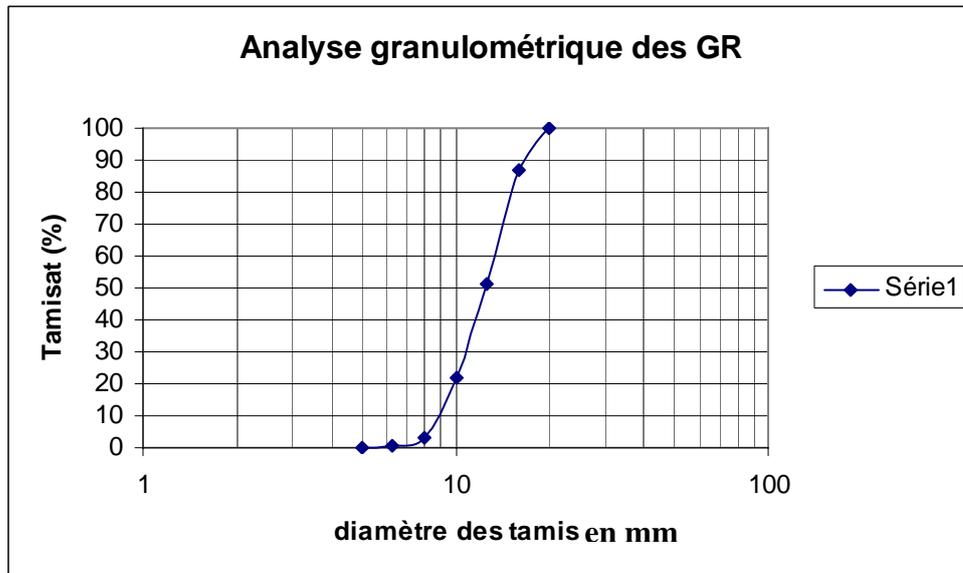


Fig 3.6: Courbe granulométrique du gravier recyclé

$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 1.66$ Alors la distribution des dimensions des particules est dite uniforme.

Et le gravier c'est un gravier grossier.

c) **Sable recyclé (SR) 0/5**

Poids total = 1500 g

Tableau 3.3: Analyse granulométrique du sable recyclé

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Tamisât (g)	Tamisât (%)
5	0	0	1500	100
2.5	415	415	1085	72.33
1.25	368	783	717	47.8
0.63	254	1037	463	30.86
0.315	158	1195	305	20.33
0.16	133	1328	172	11.46
0.08	134	1462	38	2.53
f	38	1500	0	0

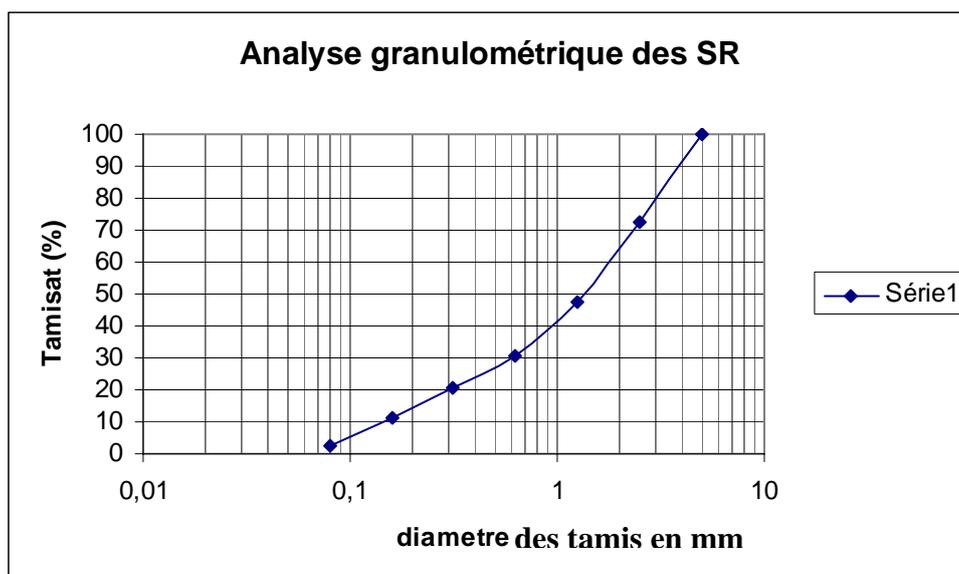


Fig 3.7: Courbe granulométrique du sable recyclé

La distribution des dimensions des particules est dite bien gradué. Car le coefficient d'uniformité est supérieur à 10.

d) Sable naturel (SN) 0/3

Poids total = 1500 g

Tableau 3.4: Analyse granulométrique du sable naturel

Diamètre (mm)	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Tamisât (g)	Tamisât (%)
5	0	0	1500	100
2.5	58	58	1442	96.13
1.25	185	243	1257	83.8
0.63	308	551	949	63.26
0.315	619	1170	330	22
0.16	315	1485	15	1
0.08	10	1495	5	0.33
f	5	1500	0	0

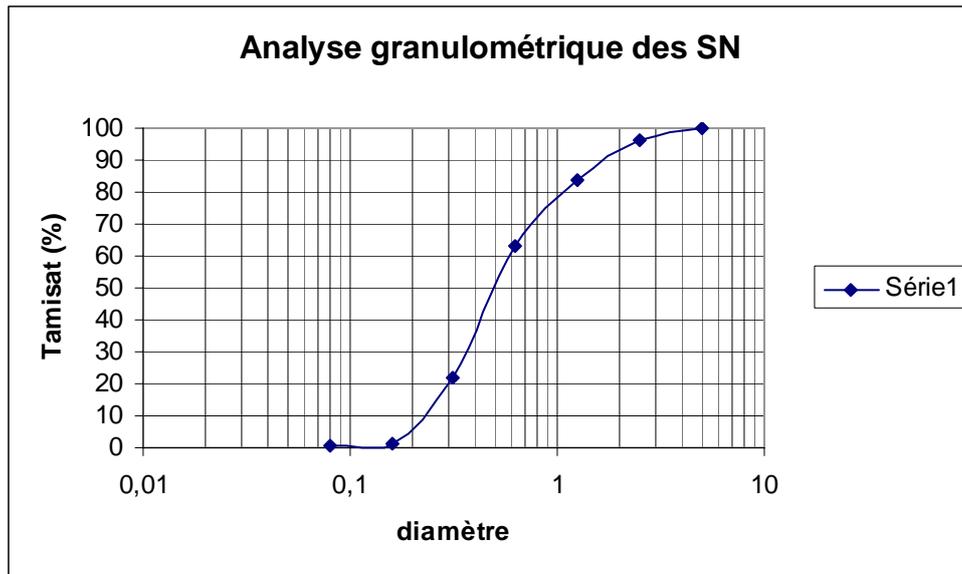


Fig 3.8: Courbe granulométrique du sable naturel

Le sable naturel à une distribution des dimensions est dite étalé car le coefficient d'uniformité est supérieur à 2.

3.1.3.2 –Module de finesse

Le module de finesse d’un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus, exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante : 0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 -5 - 10 – 20 – 40 et 80 mm.

Le module de finesse étant presque exclusivement vérifié sur les sables, les tamis concernés sont: 0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5 mm.

Le module de finesse est plus particulièrement appliqué aux sables dont il est une caractéristique importante.

• **Sable recyclé (SR) 0/5**

Refus sur le tamis	D = 0.16 = 88.53 %	} Total: 317,18
	D = 0.315 = 79.66 %	
	D = 0.63 = 69.13 %	
	D = 1.25 = 52.20 %	
	D = 2.5 = 27.66 %	
	D = 5 = 0	

Mf = Module de finesse = 1/100 x 317,18 = 3,17

• **Sable naturel (SN) 0/3**

Refus sur le tamis	D = 0.16 = 99 %	}	Total: 233,79
	D = 0.315 = 78 %		
	D = 0.63 = 36.73 %		
	D = 1.25 = 16.20 %		
	D = 2.5 = 3.86 %		
	D = 5 = 0		

Mf = Module de finesse = 1/100 x 233,79 = 2.34

On remarque que le sable naturel est acceptable pour la confection d'un béton hydraulique, et le sable recyclé est plus ou moins gros et peuvent entraîner par la suite un risque de ségrégation du béton.

3.1.3.3 –Equivalent du sable

Les sables utilisés dans différents domaines ne sont pas tous propres, ils contiennent une proportion plus ou moins importantes des argiles fines nuisibles qui peuvent réduire considérablement la qualité des matériaux.

Cette proportion relative d'impureté dans le sable peut être déterminé grâce au test de propreté appelé « équivalent du sable »

Ce test peut être réalisé par deux types de mesure :

- mesure avec une règle de mesure (ESv)
- mesure avec un piston (ES)

Le but de cet essai est de mettre en évidence la propreté du sable. L'essai a été fait conformément à la norme NF P 18-598 (oct. 1991)[16] et les résultats de l'essai sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3.5: Valeur de l'équivalent de sable

	Equivalent de sable (ES)	Critère de la norme
Sable naturel	96.11%	≥ 80
Sable recyclé	88.11%	≥ 75 (pour les sables concassés)

Les deux sables sont donc très propres ; la très faible teneur en fines argileuses peut entraîner un défaut de plasticité que l'emploi d'un adjuvant plastifiant doit compenser.

3.1.3.4 –Masses volumiques

La masse volumique ρ est définie comme le rapport de la masse sèche M d'un corps par unité de volume V : $\rho = M/V$ et s'exprime en t/m^3 ; Kg/dm^3 ; g/cm^3 .

On distingue trois masses volumiques :

- la masse volumique en vrac
- la masse volumique apparente
- la masse volumique réelle

Telle que :

- la masse volumique en vrac est le rapport de la masse sèche M d'un corps par unité de volume V qui représente le volume des grains y compris les pores inclus dans les grains et les pores entre les grains.
- La masse volumique apparente est le rapport de la masse M d'un corps par unité de volume V qui représente le volume apparent du corps y compris les vides contenus dans ce corps.
- La masse volumique réelle est le rapport de la masse sèche M d'un corps par unité de volume V représente le volume absolue de la substance (phase solide) ce corps est broyé tel que le diamètre des grains soit inférieur à 40 μm .

La connaissance de la masse et du volume permet le calcul :

- Du dosage volumétrique ou pondéral de composants (sable, gravier, ciment...) du mortier, pâte et bétons.
- Du volume des matériaux pulvérulents à transporter et des dimensions des silos, containers et entrepôts destinés au stockage de ces matériaux.
- De la porosité des matériaux.

Les masses volumiques (en vrac, apparente, réelle) des différents granulats utilisés sont calculées d'après la norme NF P 18-554 et 555 (déc. 1990)[17] et les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 3.6: Masse volumique des granulats utilisés

	GN	GR	SN	SR
masse volumique en vrac (g/L)	1405	1195	1545	1360
masse volumique apparente (g/L)	2631.58	2531.64	2597.40	2500
masse volumique réelle (g/L)	2768.6	2579.77	2605.89	2428.62

On remarque que la masse volumique des granulats recyclés est nettement plus faible que les granulats naturels.

3.1.3.5 – Compacité et Porosité des granulats

La compacité est le volume plein du matériau sur le volume apparent. Par contre la porosité (P) est par définition le complément à l'unité de la compacité (C). $P=1-C$.

L'essai est réalisé selon la norme NF P 18-555 (déc. 1990)[17] et consiste à mettre en évidence le pourcentage de porosité des sables utilisés. Le tableau suivant résume les résultats trouvés par l'essai :

Tableau 3.7: Compacité et porosité des granulats utilisés

	GN	GR	SN	SR
Compacité (%) $C = \frac{MV_v}{MV_a}$	53.39	47.20	59.48	54.40
Porosité (%) $P=1-C$	46.61	52.80	40.52	45.60

MVv : masse volumique en vrac.

MVa : masse volumique apparente.

3.1.3.6 –Absorption d’eau

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraîné par une imbibition partielle en eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24 h à 20 °C à la pression atmosphérique.

L’essai est réalisé conformément à la norme NF P 18-554 (déc. 1990)[17] qui exige une valeur limité d’absorption de 5.5%. Les résultats obtenus de cet essai sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 3.8: Pourcentages d’absorption d’eau des granulats utilisés

	GN	GR	SN	SR
Abs (%)	3.58	4.03	9.23	11.34

Abs : Absorption d’eau

Nous remarquons que les granulats recyclés absorbent beaucoup plus d’eau que les granulats naturels.

3.1.3.7 –Propreté

Nous entendons par propreté, le pourcentage de vase, de limon, d’argile et de matières solubles et non pas les impuretés telles que le charbon, le mica, le gypse, les bouts de bois et autres qui sont absolument proscrites pour un béton de qualité.

Le pourcentage des impuretés à ne pas dépasser est fixé à 3% selon la norme NF P 18-59 (sep. 1990)[18]. Les résultats obtenus de cet essai sont les suivants :

Tableau 3.9: Pourcentage d’impureté des granulats utilisés

Types de granulats	GN	GR
% d’impureté	2.1	4.5

Pour les granulats naturels, les impuretés sont en général un mélange de poussière, de petites particules d’argiles et des insolubles. Par contre celles des granulats recyclés de béton concassé, ce sont en totalité une masse d’ancien mortier de béton original et de la poussière issue du concassage.

3.1.3.8 –Résistance mécanique : dureté

Les essais de calcul de résistance mécanique des agrégats (Los-Angeles, Micro-Deval) ont été effectués au niveau de laboratoire national de l'habitat et de la construction (LNHC).

a) Essai d'abrasion Los Angeles

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite en soumettant le granulat aux chocs de boules normalisées dans la machine Los Angeles conformément à la norme NF P18-573 [19]. Cette dernière stipule la valeur spécifique limite de 40% à ne pas dépasser. L'essai sert à évaluer la ténacité et la fragilité du matériau.

Les résultats de cet essai sont :

• Gravier Naturel 8/15:

Préparation de l'essai : 5000g de passants entre 14 et 10mm

11 boules de fer

Poids obtenu après passage à l'appareil Los Angeles, lavage au tamis de 1.6 mm puis séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante : 3913,5 g

$$LA = \frac{5000 - 3913,5}{5000} = 21,73\%$$

• Gravier Recyclé 8/15:

Préparation de l'essai : 5000g de passants entre 14 et 10mm

11 boules de fer

Poids obtenu après passage à l'appareil Los Angeles, lavage au tamis de 1.6 mm puis séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante : 3361 g

$$LA = \frac{5000 - 3361}{5000} = 32,78\%$$

b) Essai d'usure Micro-Deval

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1.6 mm produite en soumettant le granulat aux chocs de boules normalisées au présence d'eau dans la machine Micro-Deval conformément à la norme NF P18-572 [20].

L'essai Micro-Deval permet de mesurer l'usure des granulats produits par frottements réciproques dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies.

Cet essai réalisé sur le gravier 8/15 et la granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les classes granulaires : 10 - 14.

· Gravier Naturel 8/15 :

Préparation de l'essai : 500g de passants entre 14 et 10mm

5000g de la charge abrasive

2.5 l d'eau

Poids obtenu après passage à l'appareil micro-Deval, lavage au tamis de 1.6 mm puis séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante : 409 g

$$MDE = \frac{500 - 409}{500} = 18,2\%$$

· Gravier Recyclé 8/15:

Préparation de l'essai : 500g de passants entre 14 et 10mm

5000g de la charge abrasive

2.5 l d'eau

Poids obtenu après passage à l'appareil micro-Deval, lavage au tamis de 1.6 mm puis séchage à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante : 351,5 g

$$MDE = \frac{500 - 351,5}{500} = 29,7\%$$

Selon la norme NF P18-572 le MDE ne doit pas dépassé 20

3.1.3.9 –Analyse chimique

Tableau 3.10: Analyse chimique

Echantillon	Gravier Naturel	Gravier Recyclé	Sable Naturel	Sable Recyclé
Insolubles (silice - silicates)	19.92%	30%	80.77%	24.17%
Oxyde de fer et d'alumine (Fe ₂ O ₃ -Al ₂ O ₃)	8.25%	5.03%	8.53%	7.3%
Chlorure (Na cl)	0.53%	0.29%	0.70%	0.29%
Sulfates (CaSO ₄ , 2H ₂ O)	-	-	-	-
Perte un feu	32.39%	30.05%	5.07%	31.05%
Carbonates (CaCO ₃)	68.38%	59.83%	3.41%	65.81%
Anhydride carbonique	30.09%	26.32%	1.50%	28.95%
L'eau de constitution	2.30%	3.73%	3.58%	2.08%
Bilan chimique pondéral	99.38%	98.88%	98.49%	99.65%

3.2 –Les fillers (addition minérale)

Les fillers où les ultras-fins, de granulométrie inférieure à celle de ciment, ont un rôle double :

1. Rôle granulaire ou filler inerte, c'est-à-dire la capacité de s'intercaler entre les grains de ciment diminuant ainsi le dosage en eau ; leur taille étant inférieure au micron. Ceci densifie la pâte de ciment et donc améliore la résistance et à long terme la durabilité du matériaux.
2. Rôle actif ou effet pouzzolane où les ultras- fins s'assoient partiellement ou totalement avec l'eau ou avec certains composés du ciment tels la chaux, les

alcalins. Ceci réduit les risques de formation des points gonflants et diminue les risques de réaction alcali-granulats nuisibles à la durabilité des matériaux. Les ajouts minéraux pouvant être utilisés partiellement avec le ciment (jusqu'à 30%). Les fillers sont produits de broyage : fillers calcaires et fillers silicieux.

3.3 –Ciment [21]

Nous avons utilisé un seul type de ciment au cours de cette expérimentation. Il s'agit d'un ciment portland composé CPJ-CEM II A 32.5.

Ce ciment provient de la SOCIETE DES CIMENTS DE LA MITIDJA (MEFTAH), dont les caractéristiques sont :

3.3.1 -Analyse chimique :

Tableau 3.11 : Analyse chimique du ciment

Eléments	Teneur (%)	Exigences (NA 2185) éq à la norme NF P15 301
SiO ₂	21.01	*
CaO	63.89	*
MgO	1.10	< 5.0
Fe ₂ O ₃	3.07	*
Al ₂ O ₃	5.40	*
SO ₃	2.42	< 4.0
P.F	1.46	*
CaO libre	0.23	*
R.lns	1.15	*
Cl ⁻	0.013	< 0.05
Na ₂ O	0.25	*
K ₂ O	0.765	*

* Non normalisé.

3.3.2 -Essais physiquo-mécaniques :

Tableau 3.12: Analyse physiquo-mécanique du ciment

Eléments		Résultats	Exigences (N.A 442/2000) éq à la norme NF P15 301
Densité	g/l	913	*
S.S.B.	cm ² /g	3043	*
C.N	%	28.06	*
Prise h, mn	Début	1h49	> 1h30
	Fin	3h37	< 10h00
EXP	mm	0.69	< 10mm
Résistance à la flexion (Mpa)	02 jours	5.10	*
	07 jours	7.33	*
	28 jours	8.25	*
Résistance à la compression (Mpa)	02 jours	22.42	> 10
	07 jours	43.62	*
	28 jours	58.10	CPJ-CEM II/A 32.5

* Non normalisé.

3.4 –Les adjuvants [13, 22]

–Super plastifiant

Selon la norme NA774, un superplastifiant est un adjuvant qui, introduit dans un béton, un mortier ou coulis, a pour fonction principale de provoquer un accroissement important de l'ouvrabilité du mélange.

L'action d'un superplastifiant passe nécessairement par son adsorption sur les particules de ciment.

En se fixant sur les grains de ciment, elle modifie la nature des charges électriques.

Les grains de ciment ont alors tendance à s'éloigner les uns des autres du fait qu'ils ont tous la même charge et s'entoure d'un film d'eau très mince.

b) –MEDAFLOW 30

Le MEDAFLOW 30 est un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiants, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable. Grâce à ses propriétés fluidifiantes, le MEDAFLOW 30 permet :

Sur béton frais :

- l'obtention d'un E/C très faible
- l'amélioration considérable de la fluidité
- une très bonne maniabilité
- un long maintien de l'ouvrabilité
- d'éviter la ségrégation
- de faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- d'augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme
- de diminuer la porosité
- d'augmenter la durabilité
- de diminuer le retrait et le risque de fissuration

- Dosage :

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment

3.5 -Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection de béton est une eau potable du robinet sans traitement supplémentaire.

Formulation et confection de béton

4.1- Introduction

Dans ce chapitre nous allons définir :

- La méthode choisit pour la formulation du béton (méthode de Dreux-Goriss).
- Les pourcentages du déchet à incorporer.
- Les pourcentages des adjuvants.
- Les pourcentages du filler.
- La mise en place des éprouvettes et finalement les essais effectués sur le béton frais et durci.

Le but de ce chapitre est de rechercher les pourcentages optimaux des différents constituants du béton afin d'obtenir la composition adéquate.

4.2- Méthodes de composition de béton

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

Plusieurs méthodes de compositions de béton ont été proposées par différents auteurs :

Méthode de Bolomey, Vallette, Faury, Lezy, Joisel, Dreux-Goriss,...etc.

Nous avons choisi pour notre étude la méthode de composition proposée par Dreux-Goriss, ceci pour deux raisons principales :

- Cette méthode est applicable quelle que soit la granularité (continue ou discontinue).
- Cette méthode appliqué au béton où le diamètre maximal des granulats est de 20 mm.

4.3- Méthode de DREUX-GORISS [11]

Nous rappelons que cette méthode a pour seul but de permettre de définir d'une façon simple et rapide une formule de composition à peu près adaptée au béton étudié, mais que seules quelques gâchées d'essai et la confection d'éprouvettes permettront d'ajuster au mieux la composition à adopter définitivement en fonction des qualités souhaitées et des matériaux effectivement utilisés [11].

• Données de base

En général on demandera une résistance f_{c28} en compression à 28 jours et compte tenu des dispersions et de l'écart quadratique s , il faudra viser une résistance moyenne à 28 jours : f_c supérieure à f_{c28}

Car $f_{c28} = f_c - 0,8s$

Si l'on admet un coefficient de variation moyen de l'ordre de 20%, on pourra adopter la règle approximative pour la résistance moyenne à viser :

$$f_c = f_{c28} + 15\%$$

La résistance caractéristique demandée est : $f_{c28} = 30MPa$ On visera comme résistance moyenne à 28 jours, donc : $f_c = 30 + 15\% = 34,5MPa$

Compte tenu des caractéristiques géométriques de l'ouvrage, les règles concernant la dimension maximale des granulats conduisent à adopter : $D = 15mm$

• Dosage en ciment

Le ciment employé est de la classe 32,5, mais il a une résistance vraie moyenne à 28 jours f_{CE} avec : $f_{CE} \geq f_{c28} + \lambda(C_E - C_{min})$

On a :

$$\left\{ \begin{array}{l} f_{c28} = 30MPa \\ C_E = 58,1MPa \\ C_{min} = 30MPa \\ \lambda = 1 \end{array} \right. \Rightarrow f_{CE} = 58,1MPa$$

- f_{c28} est la résistance caractéristique spécifiée du béton à 28 jours ;
- C_E est la résistance à la compression du ciment à 28 jours ;
- C_{min} est la valeur minimale de résistance à la compression à 28 jours du ciment ;
- λ est un coefficient pris égal à 1 sauf justification de la relation entre la résistance Du béton et celle du ciment utilisé.

Les granulats sont bonne qualité ; on peut donc calculer C/E par la formule :

$$f_c = G \cdot f_{CE} \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right) \quad \text{Avec } G = 0,45 \text{ (valeur approximative du coefficient granulaire)}$$

$$34,5 = 0,45 \times 58,1 \left(\frac{C}{E} - 0,5 \right)$$

$$\text{D'où} \quad \frac{C}{E} = 1,82$$

Et le dosage en ciment $C = 350 \text{ kg} / \text{m}^3$

- **Dosage en eau**

Le dosage en eau totale sur matériaux secs sera approximativement :

$$\frac{C}{E} = 1,82 \quad \Rightarrow \quad E \approx 192 \text{ kg} / \text{m}^3$$

- **Dosage des granulats**

Le module de finesse du sable est satisfaisant (2,34).

Le point de brisure A de la courbe granulaire de référence est à l'abscisse $D/2 = 10 \text{ mm}$ son ordonnée est $Y = 50 - \sqrt{D} + K$

Pour un dosage à 350 kg de ciment, un granulat concassé et une vibration normale, on peut adopter un terme correcteur $K = +2$

La correction en fonction du module de finesse du sable $M_f = 2,34$ est $K_s = 6 M_f - 15 = -1$

En définitive $Y = 50 - \sqrt{15} + 2 - 1 = 47\%$

Les granulats ont été examinés et jugés satisfaisants : leurs courbes granulaires sont représentées sur le graphique suivant :

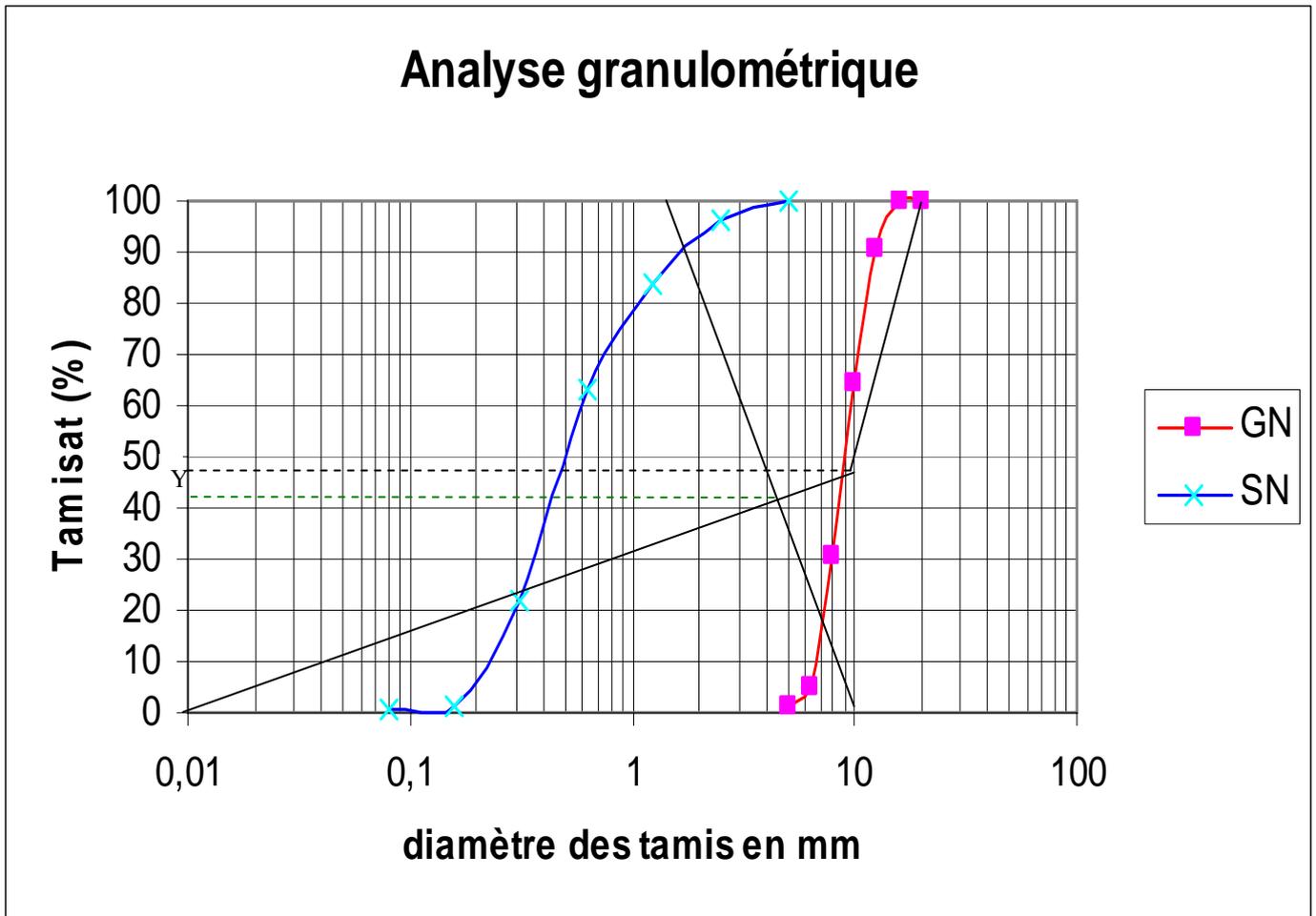


Fig 4.1: Courbes granulométriques des granulats naturel.

La ligne de partage entre les deux granulats s’obtient en joignant le point 91% de la courbe du sable au point 15% de la courbe du gravier. Le point de rencontre de la ligne de partage avec la courbe de référence donne le partage des pourcentages de sable et de gravier :

- Pourcentage de sable42%
- Pourcentage de gravier.....58%

Valeur du coefficient de compacité γ est égal 0,820, les volumes absolus des constituants solides sont les suivants :

- Volume total absolu.....1000 γ = 820 l
- Volume absolu du ciment..... $\frac{350}{3,1} = 113$ l
- Volume absolu du granulats..... 820 – 113 = 707 l
- Volume absolu du sable (707) x 0,42 = 297 l
- Volume absolu du gravier..... (707) x 0,58 = 410 l

Les densités absolues sont supposées les suivantes :

Sable : 2,60 Gravier : 2,63

Les dosages en matériaux secs seront donc en kg :

Sable.....297 x 2,6 = 773 kg

Gravier.....410 x 2,63 = 1079 kg

Ciment.....350 kg

Eau totale.....192 kg

4.4- Préparation des matériaux

- **Déchets**

Les agrégats recyclés sont introduit dans le béton pour les pourcentages suivant : 20, 30, 40, 50% de poids des agrégats et utilisée pour les trois procédure suivante :

La première fois gravier seule, deuxième fois sable seul et dernièrement gravier + sable.

Au départ les agrégats préparés comme suivent :

- peser la quantité nécessaire.
- Laver cette quantité par un tamis de 80 μm jusqu'à ce que l'eau passe soit claire.
- Immersion dans l'eau pendant 10 min pour diminuer la quantité de l'eau de gâchage, car les granulats recyclés absorbent beaucoup d'eau.
- Sécher à l'aire.

- **Les fillers**

Les fillers utilisées sont de diamètre inférieur à 80 μm , obtenues par le broyage des granulats naturel préparé au niveau de laboratoire LCE. Introduit dans le béton par un pourcentage de 14% de poids de ciment.

Et on a varie le pourcentage de filler avec le pourcentage de déchets comme suit :

Pour 1 m^3 de béton. Ciment $C = 350\text{kg} / \text{m}^3$ filler : 49 Kg.

Pour 20% de déchets $\rightarrow 9,8\text{kg}$ de filler

Pour 30% de déchets $\rightarrow 14,7\text{kg}$ de filler

Pour 40% de déchets $\rightarrow 19,6\text{kg}$ de filler

Pour 50% de déchets $\rightarrow 24.5\text{kg}$ de filler

- **L'adjuvant**

Les deux adjuvants (MEDAFLUID, MEDAFLOW) sont utilisés pour deux pourcentages différents : 1% et 1,2% de poids de ciment pour chaque adjuvant.

$$\text{Pour } 1\text{m}^3 \text{ de béton } \left\{ \begin{array}{l} \text{Adjuvant } 1\% \Rightarrow 3,5 \text{ Kg} \\ \text{Adjuvant } 1,2\% \Rightarrow 4,2 \text{ Kg} \end{array} \right.$$

4.5- Fabrication des éprouvettes

4.5.1- Equipements

En laboratoire, les éprouvettes en béton ont été réalisées à l'aide d'un équipement standard.

❖ Malaxeur (selon EN 196-1)

Le béton a été préparé dans un malaxeur de 5 litres, il comporte une pale de malaxage en alliage léger susceptible de fonctionner à trois vitesses de malaxage : 139, 285, 591 tr/mn.

❖ Table vibrantes (selon NF P 18-422)

On utilise une table vibrante de 60x40 cm de surface, dont la fréquence de vibration est de 12000 vibr/mn.

❖ Cône d'Abrams

C'est un moule en tôle tronconique ($D = 20 \text{ cm}$, $d = 10 \text{ cm}$, $h = 30 \text{ cm}$) ; le remplissage s'exécute en trois couches tassées avec une tige d'acier de 16 mm de diamètre dont l'extrémité est arrondie, à raison de 25 coups par couche ; on soulève ensuite le moule avec précaution et on mesure l'affaissement.

❖ Moule (selon norme AFNOR-ISO-EN-ASTM)

Des moules normalisés ont été utilisés, ils servent au moulage de trois éprouvettes prismatiques de béton de section carrée 7 cm×7 cm et de longueur de 28 cm (pour essai de traction) et trois éprouvettes cubique 15×15×15 cm (pour essai de compression). Ils sont fabriqués avec précision et sont entièrement démontables. Ces moules sont fabriqués en acier étiré usiné.

4.5.2- Confection des éprouvettes

Les composants nécessaires à la confection du béton sont malaxés, jusqu'à obtention d'une pâte bien homogène. Le béton ainsi préparé est testé par le cône d'Abrams pour mesurer l'affaissement. Le béton récupéré (après l'essai Slump-test) est versé dans des moules 7×7×28 cm et 15×15×15 cm en trois couches, dans chaque une le moule vibrait par table vibrante. La surface du béton est nivelée au ras des bords avec une règle métalliques plate. Après démoulage des éprouvettes à 24 heures, nous les conservons dans l'eau jusqu'au jour de l'essai.

4.5.3- Incorporation du déchet

Nous préparons au départ des éprouvettes témoins à 0% de déchet, puis on fabrique successivement des éprouvettes à 20, 30, 40, 50% de déchet (pourcentage de substituant) pour les deux types d'adjuvants incorporés.

Les trois figures suivantes nous montre l'ordre d'incorporation des différents matériaux.

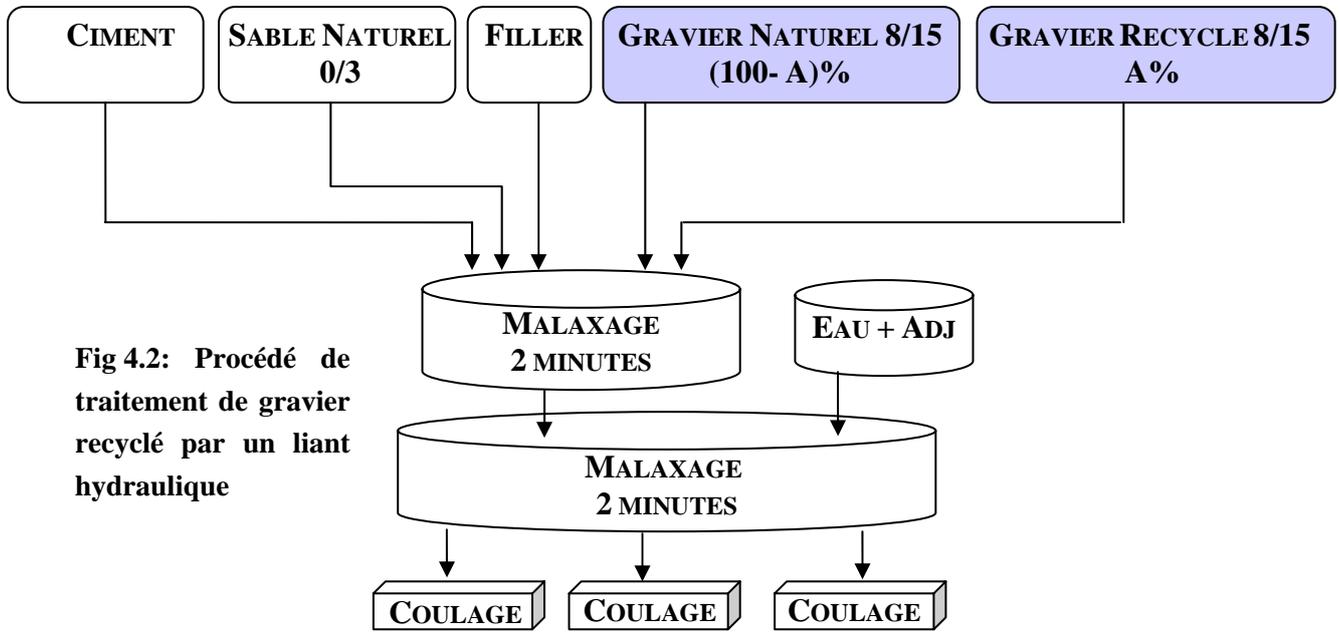


Fig 4.2: Procédé de traitement de gravier recyclé par un liant hydraulique

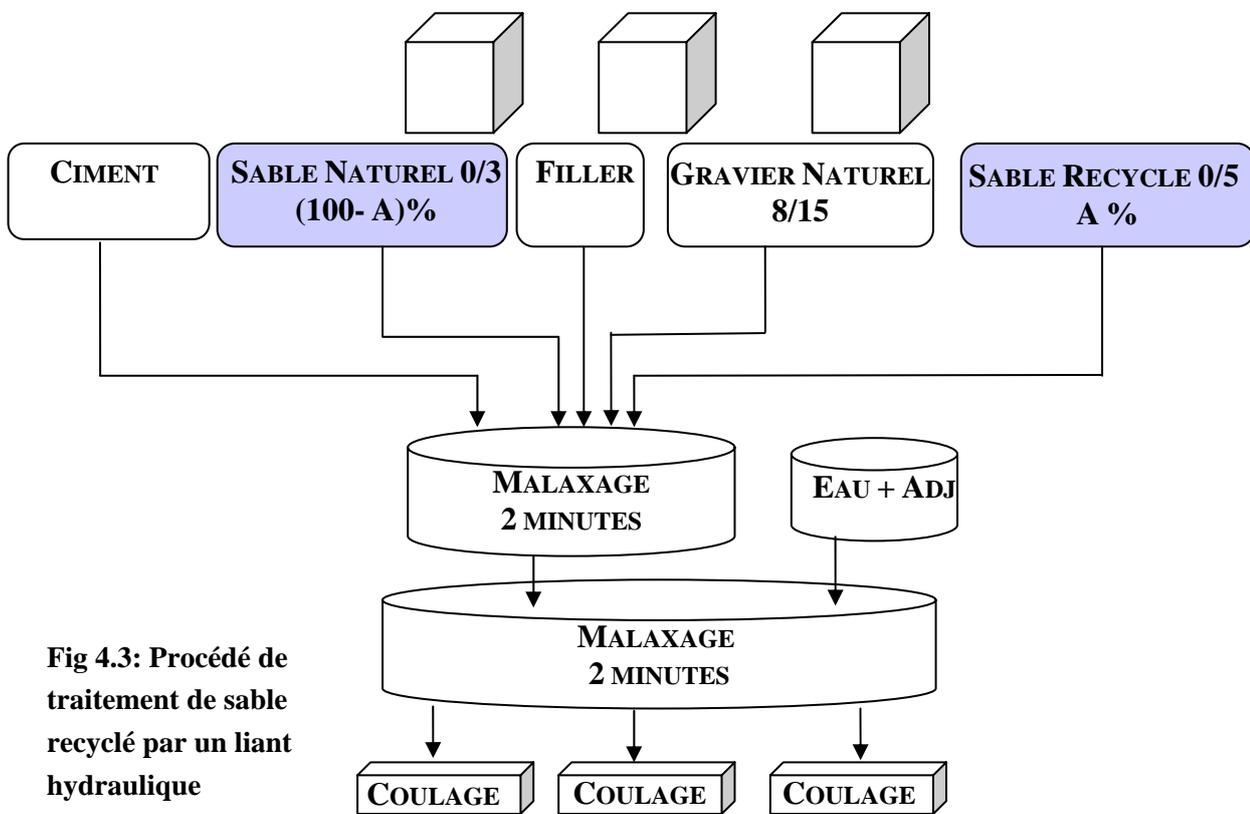


Fig 4.3: Procédé de traitement de sable recyclé par un liant hydraulique

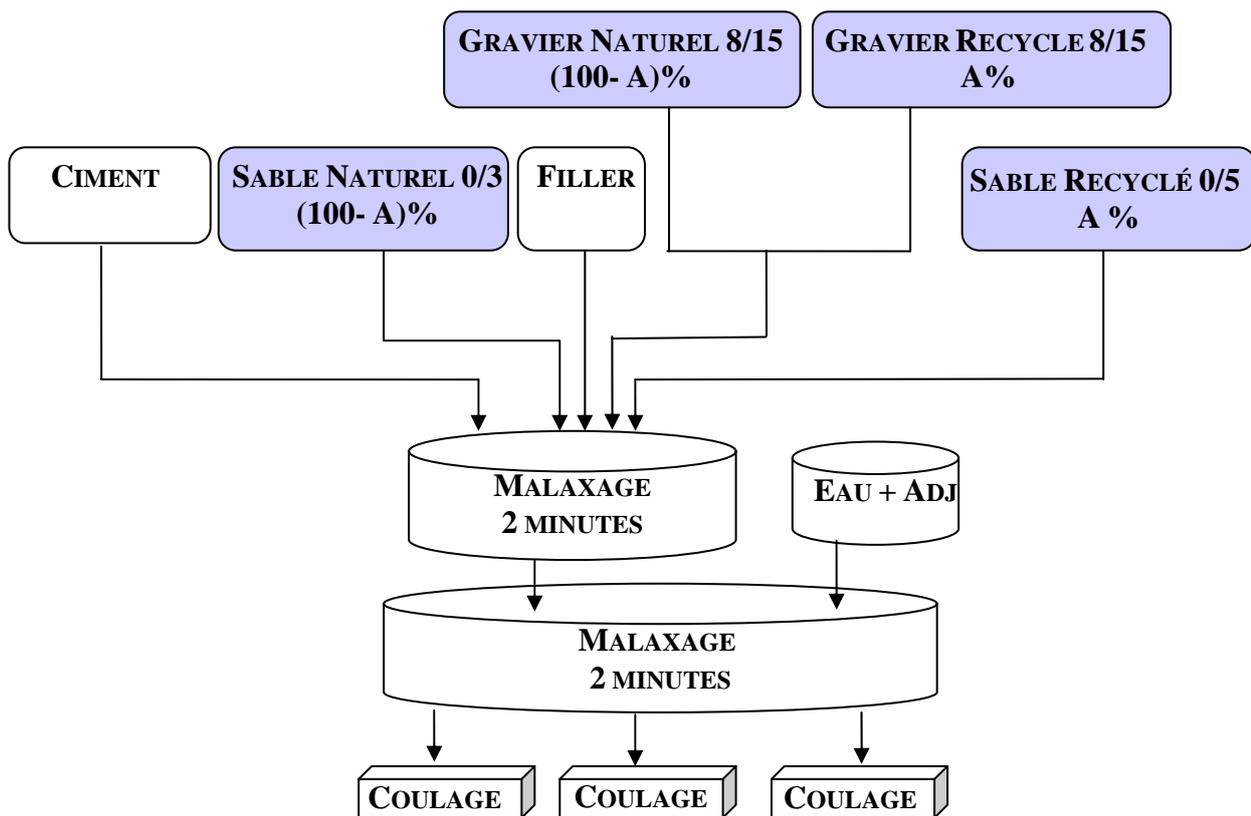


Fig 4.4: Procédé de traitement de gravier recyclé et sable recyclé par un liant hydraulique

4.6- Modalité des essais

4.6.1- Ouvrabilité

L'ouvrabilité a été mesurée par le Slump-test conformément à la norme NF P 18-451 Déc.81. Tous les bétons ont été fabriqués à ouvrabilité constante (plage de plasticité) pour faciliter la comparaison entre eux.

4.6.2- Essai de résistance a la compression

L'essai s'effectue sur machine à compression conformément à la norme NF P 18-406 [23]. La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement de trois éprouvettes cubiques de 15×15×15 cm pour chaque béton.

$$\sigma_{c,j} = \frac{F}{a^2}$$

F : la charge de rupture ;

a : l'arête de l'éprouvette ;

$\sigma_{c,j}$: résistance à la compression à j jours.

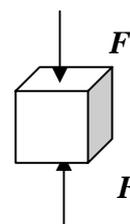


Fig 4.5: Essai de compression

4.6.3- Essai de résistance a la traction par flexion

La résistance à la traction est mesurée par la méthode de traction par flexion conformément à la norme NF P 18-407 Déc.81 [24]. L'essai s'effectue sur une machine automatique de flexion, sollicitant l'écrasement d'éprouvette prismatique (7×7×28 cm) à une flexion directe à raison de trois éprouvettes pour chaque béton.

$$\sigma_{t,j} = \frac{1.8P}{a^2} (MPa); \quad P = 2F$$

la formule précédente est une formule empirique

P : la charge de rupture ;

a : le côté de la base en mm ;

$\sigma_{t,j}$: résistance à la traction à j jours.

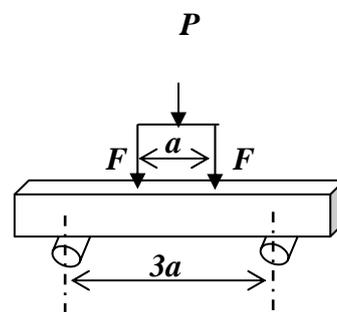


Fig 4.6: Essai de traction par flexion

Analyses et discussions de résultats

Dans ce chapitre on a étudié trois types de béton :

- Béton à base des gros granulats recyclés
- Béton à base des granulats fins recyclés
- Béton à base des gros et fins granulats recyclés (combiné)

5.1- Etude du béton à base de gros agrégats recyclés

5.1.1- Consistance du béton frais

La composition de béton a été faite de façon à avoir un affaissement constant au cône d'Abrams de l'ordre de 70 mm de la fourchette de consistance de béton plastique (50 à 90 mm) que l'on tentait toujours d'y approcher.

Le tableau suivant 5.1 Montre que le rapport E/C était très variable car la quantité d'eau nécessaire utilisée dépend de deux facteurs : pourcentage d'absorption d'eau de gros granulats recyclés et la présence de l'adjuvant super plastifiant haut réducteur d'eau. Ainsi que le pourcentage d'absorption d'eau des gros granulats recyclés était modifié car les gros agrégats recyclés sont utilisés après une immersion dans l'eau pour 10min et 24 h à l'air. Donc c'est difficile de fixer la quantité d'eau ou bien le rapport E/C. Alors pour avoir un affaissement compris entre 50 et 90 mm au cône d'Abrams on a adopté une loi générale liant les pourcentages des gros granulats recyclés et la quantité d'adjuvant utilisée à la quantité d'eau nécessaire au mélange pour obtenir une fluidité constante.

$E = E_{\text{réel}} + (\% \text{ d'absorption d'eau} - \% \text{ de la quantité d'eau réduit par l'effet de l'adjuvant})$.

Tableau 5.1: Rapport E/C et Slump teste des différents pourcentages de substitution en gros granulats recyclés.

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant	Type de béton	rapport E/C	Affaissement (cm)	
0%	*	béton témoin	0,547	5,2	
20%	A1	1%	BAG20 A1P1	0,493	5
		1,2%	BAG20 A1P2	0,468	6,3
	A2	1%	BAG20 A2P1	0,468	7,4
		1,2%	BAG20 A2P2	0,46	6,3
30%	A1	1%	BAG30 A1P1	0,505	5,6
		1,2%	BAG30 A1P2	0,497	8
	A2	1%	BAG30 A2P1	0,505	9
		1,2%	BAG30 A2P2	0,49	8
40%	A1	1%	BAG40 A1P1	0,517	6,5
		1,2%	BAG40 A1P2	0,514	7,8
	A2	1%	BAG40 A2P1	0,508	7,4
		1,2%	BAG40 A2P2	0,486	5,5
50%	A1	1%	BAG50 A1P1	0,487	9
		1,2%	BAG50 A1P2	0,462	5,5
	A2	1%	BAG50 A2P1	0,462	6
		1,2%	BAG50 A2P2	0,436	7,5

B: indique béton

AG: indique agrégats gros.

20, 30, 40, 50: indique le pourcentage de déchet introduit.

A1, A2 : les deux adjuvants utilisés : A1 MEDA FLUID, A2 MEDAFLOW.

P1, P2 : pourcentage d'adjuvant 1%, 1.2% successivement.

5.1.2- Béton durci

Dans ce qui suit, nous allons présenter les résultats des essais effectués sur béton durci pour chaque pourcentage de déchet, ils concernent :

- La masse volumique
- La résistance mécanique (à la compression et à la traction par flexion).

5.1.2.1- La masse volumique du béton durci

L'homogénéité des bétons recyclés semble être en tout point comparable à celle du béton ordinaire (témoin). Par contre la masse volumique du béton recyclé durci est nettement inférieure à celle du béton ordinaire (témoin).

Les masses volumiques du béton durci à différents pourcentages de déchet sont représentées dans le tableau 5.2 :

Tableau 5.2 : Valeurs de E/C et densité du béton durci des différents pourcentages de substitution en gros granulats recyclés.

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant		Type de béton	rapport E/C	Masse Volumique (Kg/m3)
0%	*		béton témoin	0,547	2432
20%	A1	1%	BAG20 A1P1	0,493	2421
		1,2%	BAG20 A1P2	0,468	2418
	A2	1%	BAG20 A2P1	0,468	2424
		1,2%	BAG20 A2P2	0,46	2412
30%	A1	1%	BAG30 A1P1	0,505	2224
		1,2%	BAG30 A1P2	0,497	2256
	A2	1%	BAG30 A2P1	0,505	2237
		1,2%	BAG30 A2P2	0,49	2326
40%	A1	1%	BAG40 A1P1	0,517	2302
		1,2%	BAG40 A1P2	0,514	2274
	A2	1%	BAG40 A2P1	0,508	2314
		1,2%	BAG40 A2P2	0,486	2238
50%	A1	1%	BAG50 A1P1	0,487	2335
		1,2%	BAG50 A1P2	0,462	2370
	A2	1%	BAG50 A2P1	0,462	2400
		1,2%	BAG50 A2P2	0,436	2385

5.1.2.2 –Résistance à la compression

Cet essai est effectué sur des éprouvettes cubiques de 15 cm de côté.

Cet essai est effectué à l'age de 28 jours pour toutes les compositions, dont le but est de suivre l'évolution de la résistance à la compression du béton contenant le déchet. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 5.3: Résistance à la compression des bétons recyclés à base de gros granulats concassés.

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant	Type de béton	résistance à la compression (MPa) à 28 jours	
0%	*	béton témoin	33,61	
20%	A1	1%	BAG20 A1P1	37,45
		1,2%	BAG20 A1P2	43,42
	A2	1%	BAG20 A2P1	39,47
		1,2%	BAG20 A2P2	44,51
30%	A1	1%	BAG30 A1P1	22,89
		1,2%	BAG30 A1P2	25,61
	A2	1%	BAG30 A2P1	28,31
		1,2%	BAG30 A2P2	29,51
40%	A1	1%	BAG40 A1P1	29,52
		1,2%	BAG40 A1P2	30,3
	A2	1%	BAG40 A2P1	37,16
		1,2%	BAG40 A2P2	34,84
50%	A1	1%	BAG50 A1P1	38,66
		1,2%	BAG50 A1P2	43,49
	A2	1%	BAG50 A2P1	45,42
		1,2%	BAG50 A2P2	46,87

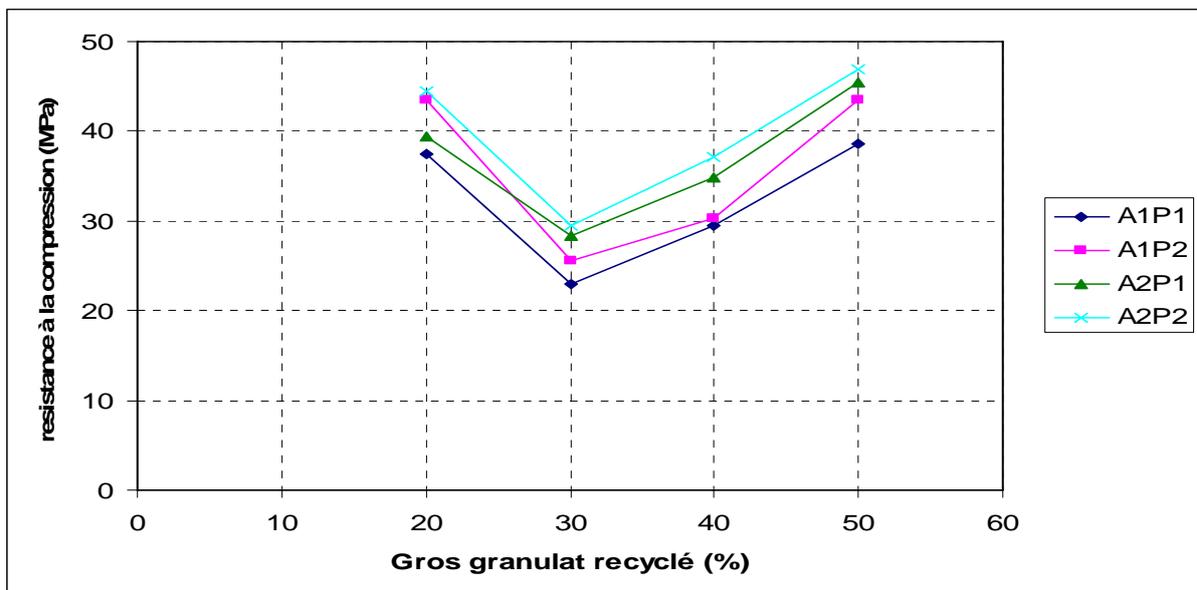


Fig 5.1: Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de substitution en gros granulats de béton concassé.

Commentaire: D'après le tableau 5.3 on remarque que la résistance à la compression à 28 jours pour le béton élaboré avec de gros granulats recyclés avec l'ajout du plastifiant (MEDAFLOW) dépasse la résistance à la compression du témoin et ceci pour les tous pourcentage de substitution (20%, 40%, 50%). Par contre pour le pourcentage de 30%, la résistance observée est légèrement inférieure à celle du témoin. Cette particularité reste difficile à expliquer. On reconnaît aussi que l'allure générale de courbes est différente de celle que l'on espérait. En effet on s'attendait à ce que la résistance (même si elle est améliorée grâce à l'ajout de l'adjuvant) diminue avec l'augmentation du pourcentage de substitution. Aussi d'autre étude sont nécessaire pour infirmer ou confirmer cette tendance des courbes.

5.1.2.3- Relation entre la résistance à la compression et la densité

Nous remarquons d'après les tableaux 5.2 et 5.3 que comme prévu, la résistance à la compression est proportionnelle à la densité du béton élaboré. Ceci s'explique par le fait que le béton recyclé se compose comme un béton léger vis-à-vis la quantité d'eau de gâchage élevé demandée, et par la suite le risque de porosité surestimée. Il semble que ces deux paramètres clés sont à l'origine de la chute de densité et par la suite la résistance à la compression du béton recyclé. Des résultats comparables ont été observés par **Debieb.F [4]**.

5.1.2.4 –Résistance à la traction

Cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de 7x7x28cm.

Cet essai est effectué à l'âge de 28 jours pour toutes les compositions, dont le but est de suivre l'évolution de la résistance à la traction du béton contenant le déchet. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 5.4: Résistance à la traction des bétons recyclés à base de gros granulats concassés.

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant	Type de béton	résistance à la traction (MPa) à 28 jours	
0%	*	béton témoin	3,56	
20%	A1	1%	BAG20 A1P1	2,4
		1,2%	BAG20 A1P2	3,24
	A2	1%	BAG20 A2P1	2,79
		1,2%	BAG20 A2P2	3,54
30%	A1	1%	BAG30 A1P1	1,62
		1,2%	BAG30 A1P2	1,77
	A2	1%	BAG30 A2P1	2,17
		1,2%	BAG30 A2P2	2,5
40%	A1	1%	BAG40 A1P1	2,07
		1,2%	BAG40 A1P2	2,18
	A2	1%	BAG40 A2P1	2,26
		1,2%	BAG40 A2P2	2,19
50%	A1	1%	BAG50 A1P1	2,92
		1,2%	BAG50 A1P2	3,21
	A2	1%	BAG50 A2P1	3,32
		1,2%	BAG50 A2P2	3,41

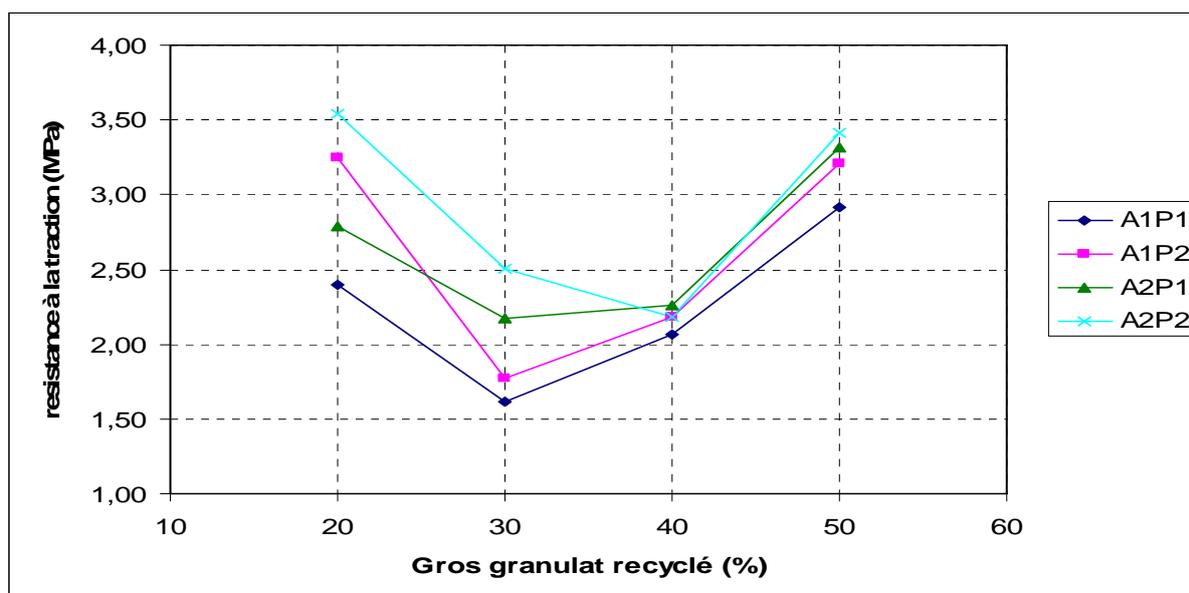


Fig 5.2: Variation de la résistance à la traction en fonction du pourcentage de substitution en gros granulats de béton concassé.

Commentaire: Le tableau 5.4 résume les résultats de la résistance à la traction pour du béton recyclé à base de gros granulats concassés.

La figure 5.2 montre que la résistance à la traction obtenue pour l'ensemble des compositions des bétons élaborés à base des gros agrégats recyclés sont inférieure à celle du béton ordinaire (témoin), malgré la présence des adjuvants.

Les évolutions des résistances à la traction sont similaires à celle observées pour la compression. De ce fait elles sont contraires à celle que l'on espérait.

En ce qui concerne l'aspect général du graphe, les allures sont de même tendance qui se diffère de celle trouver par d'autres chercheurs (cf 1.7), ceci est dû à des cause déjà citées précédemment

5.1.2.5- Conclusion

- l'utilisation de l'adjuvant et de filler avec une ouvrabilité toujours proche à celle du béton témoin, donne une amélioration de la résistance à la compression qui peut atteindre 32%.
- la résistance obtenue reste acceptable jusqu'à 50% de substitution
- La résistance augmente avec l'augmentation de pourcentage de l'adjuvant
- L'adjuvant superplastifiant MEDAFLOW donne des meilleures résistances que le plastifiant MEDAFLUID.

5.2- Etude du béton à base des granulats fins recyclés

5.2.1- Consistance du béton frais

Le tableau suivant 5.5 Montre que le rapport E/C était très variable car la quantité d'eau nécessaire utilisée est dépend de deux facteurs : pourcentage d'absorption d'eau de granulats fins recyclés et la présence de l'adjuvant super plastifiant haut réducteur d'eau. Ainsi que le pourcentage d'absorption d'eau des granulats fins recyclés était modifié car les agrégats fins recyclés sont utilisés après une immersion dans l'eau pour 10min et 24 h à l'air. Donc c'est difficile de fixé la quantité d'eau ou bien le rapport E/C. Alors pour avoir un affaissement compris entre 50 et 90 mm au cône d'Abrams on a suit une loi générale liant les pourcentages des granulats fins recyclés et la quantité d'adjuvant utilisée à la quantité d'eau nécessaire au mélange pour obtenir une fluidité constante.

$E = E \text{ réel} + (\% \text{ d'absorption d'eau} - \% \text{ de la quantité d'eau réduit par l'effet de l'adjuvant}).$

Tableau 5.5: Rapport E/C et Slump teste des différents pourcentages de substitution en granulats fins recyclés.

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant		Type de béton	rapport E/C	Affaissement (cm)
0%	*		béton témoin	0,547	5,2
20%	A1	1%	BAF20 A1P1	0,48	5
		1,2%	BAF20 A1P2	0,463	5,3
	A2	1%	BAF20 A2P1	0,483	5
		1,2%	BAF20 A2P2	0,471	7,5
30%	A1	1%	BAF30 A1P1	0,508	5,4
		1,2%	BAF30 A1P2	0,514	7,5
	A2	1%	BAF30 A2P1	0,505	7,8
		1,2%	BAF30 A2P2	0,495	7,3
40%	A1	1%	BAF40 A1P1	0,535	8,5
		1,2%	BAF40 A1P2	0,524	9
	A2	1%	BAF40 A2P1	0,514	6
		1,2%	BAF40 A2P2	0,514	7,5
50%	A1	1%	BAF50 A1P1	0,436	9
		1,2%	BAF50 A1P2	0,41	6
	A2	1%	BAF50 A2P1	0,42	6,5
		1,2%	BAF50 A2P2	0,409	6

B: indique béton

AF: indique agrégats fins.

20, 30, 40, 50: indique le pourcentage de déchet introduit.

A1, A2 : les deux adjuvants utilisés : A1 MEDA FLUID, A2 MEDAFLOW.

P1, P2 : pourcentage d'adjuvant 1%, 1.2% successivement.

5.2.2- Béton durci

5.2.2.1- La masse volumique du béton durci

L'homogénéité des bétons recyclés semble être en tout point comparable à celle du béton ordinaire (témoin). Par contre la masse volumique du béton recyclé durci à base de granulats fins concassés est nettement inférieure à celle du béton ordinaire (témoin).

Les masses volumiques du béton durci à différents pourcentages de déchet sont représentées dans le tableau 5.6 :

Tableau 5.6 : Valeurs de E/C et densité du béton durci des différents pourcentages de substitution en granulats fins recyclés.

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant	Type de béton	rapport E/C	Masse Volumique (Kg/m3)	
0%	*	béton témoin	0,547	2432	
20%	A1	1%	BAF20 A1P1	0,48	2422
		1,2%	BAF20 A1P2	0,463	2384
	A2	1%	BAF20 A2P1	0,483	2316
		1,2%	BAF20 A2P2	0,471	2415
30%	A1	1%	BAF30 A1P1	0,508	2356
		1,2%	BAF30 A1P2	0,514	2332
	A2	1%	BAF30 A2P1	0,505	2339
		1,2%	BAF30 A2P2	0,495	2335
40%	A1	1%	BAF40 A1P1	0,535	2341
		1,2%	BAF40 A1P2	0,524	2336
	A2	1%	BAF40 A2P1	0,514	2296
		1,2%	BAF40 A2P2	0,514	2379
50%	A1	1%	BAF50 A1P1	0,436	2315
		1,2%	BAF50 A1P2	0,41	2345
	A2	1%	BAF50 A2P1	0,42	2365
		1,2%	BAF50 A2P2	0,409	2379

5.2.2.2- Résistance à la compression

Cet essai est effectué sur des éprouvettes cubiques de 15 cm de côté.

Cet essai est effectué à l'âge de 28 jours pour toutes les compositions, dont le but est de suivre l'évolution de la résistance à la compression du béton contenant le déchet. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 5.7: Résistance à la compression des bétons recyclés à base de granulats fins.

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant	Type de béton	résistance à la compression (MPa) à 28 jours	
0%	*	béton témoin	33,61	
20%	A1	1%	BAF20 A1P1	28,89
		1,2%	BAF20 A1P2	24,67
	A2	1%	BAF20 A2P1	30,77
		1,2%	BAF20 A2P2	33,44
30%	A1	1%	BAF30 A1P1	22,44
		1,2%	BAF30 A1P2	22,07
	A2	1%	BAF30 A2P1	28,22
		1,2%	BAF30 A2P2	29,56
40%	A1	1%	BAF40 A1P1	32,57
		1,2%	BAF40 A1P2	36,47
	A2	1%	BAF40 A2P1	37,69
		1,2%	BAF40 A2P2	49,45
50%	A1	1%	BAF50 A1P1	30,44
		1,2%	BAF50 A1P2	30,92
	A2	1%	BAF50 A2P1	36,48
		1,2%	BAF50 A2P2	37,23

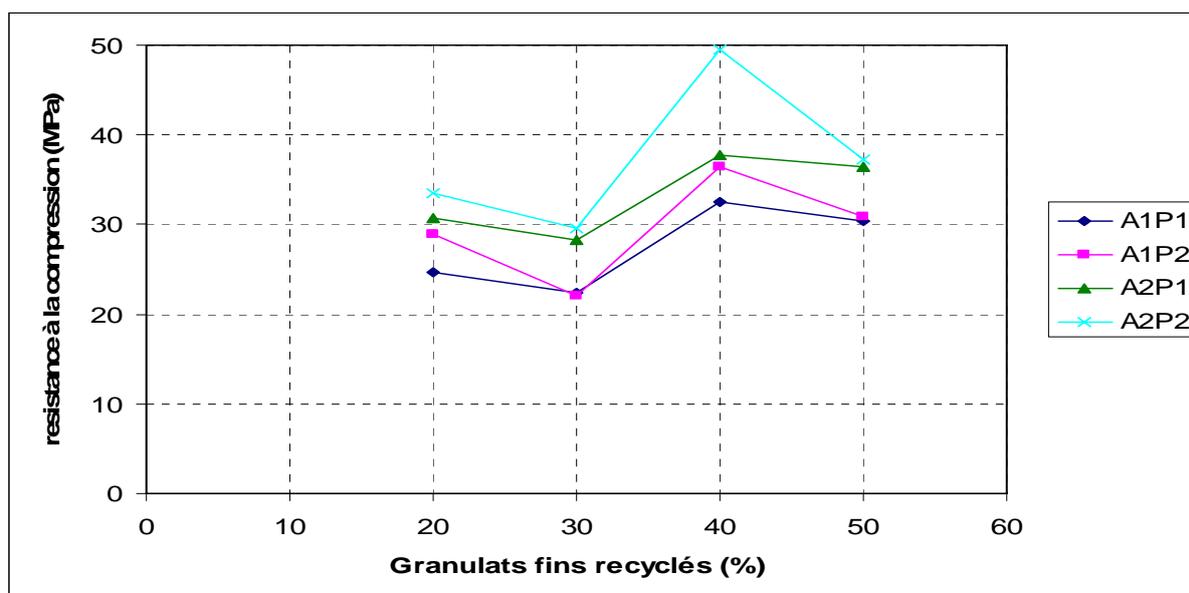


Fig 5.3: Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de substitution en granulats fins de béton concassé.

Commentaire: D'après le tableau 5.7 on remarque que la résistance à la compression à 28 jours, pour le béton à base des granulats fins recyclés pour 40% de déchets, dépasse la résistance à la compression de béton témoin. Pour les autres dosages, elle est légèrement inférieure mais restent acceptable. Concernant l'allure générale des quatre courbes, elle est différente de celle attendue.

5.2.2.3- Résistance à la traction

Cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de 7x7x28cm.

Cet essai est effectué à l'âge de 28 jours pour toutes les compositions, dont le but est de suivre l'évolution de la résistance à la traction du béton contenant le déchet. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 5.8: Résistance à la traction des bétons recyclés à base de granulats fins.

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant		Type de béton	résistance à la traction (MPa) à 28 jours
0%	*		béton témoin	3,56
20%	A1	1%	BAF20 A1P1	3,02
		1,2%	BAF20 A1P2	2,81
	A2	1%	BAF20 A2P1	3,23
		1,2%	BAF20 A2P2	3,22
30%	A1	1%	BAF30 A1P1	1,51
		1,2%	BAF30 A1P2	1,54
	A2	1%	BAF30 A2P1	2,31
		1,2%	BAF30 A2P2	1,98
40%	A1	1%	BAF40 A1P1	2,52
		1,2%	BAF40 A1P2	2,56
	A2	1%	BAF40 A2P1	2,82
		1,2%	BAF40 A2P2	3
50%	A1	1%	BAF50 A1P1	2,43
		1,2%	BAF50 A1P2	2,46
	A2	1%	BAF50 A2P1	2,79
		1,2%	BAF50 A2P2	2,83

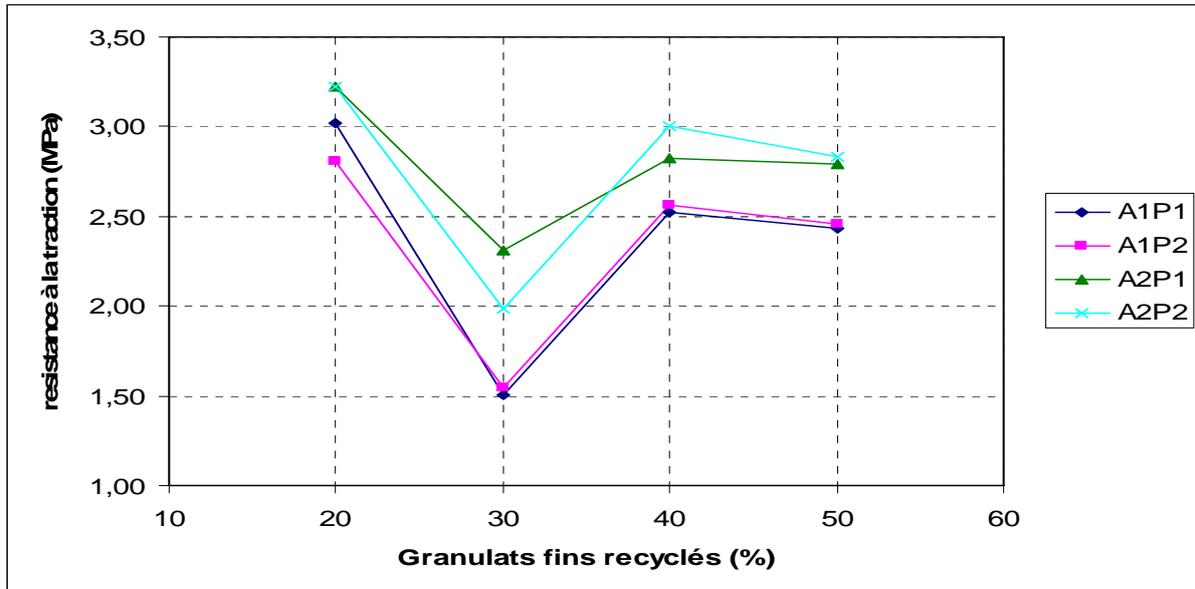


Fig 5.4: Variation de la résistance à la traction en fonction du pourcentage de substitution en granulats fins de béton concassé.

Commentaire: Le tableau 5.8 résumé les résultats de la résistance à la traction pour du béton recyclé à base de granulats fins concassés.

La résistance à la traction est inférieure à celle du béton témoin por tous les pourcentages de substitution en granulats fins recyclés.

La figure 5.4 montre la chute de résistance à la traction du béton de granulats fins recyclé par rapport à celle du béton ordinaire (témoin).

En comparaison avec la résistance à la traction du béton naturel, le béton recyclé présente une chute en fonction du pourcentage de substitution en granulats fins recyclé.

5.2.2.4- Conclusion

- l'utilisation de l'adjuvant et de filler avec une ouvrabilité toujours proche à celle du béton témoin, donne une amélioration de la résistance à la compression qui peut atteindre 40%.
- la résistance obtenue reste acceptable jusqu'à 50% de substitution
- La résistance augmente avec l'augmentation de pourcentage de l'adjuvant
- L'adjuvant superplastifiant MEDAFLOW donne des meilleures résistances que le plastifiant MEDAFLUID.
- La résistance obtenue est généralement plus faible que celle obtenu pour les gros agrégats.

5.3- Etude du béton à base des gros et fins granulats recyclés

5.3.1- Consistance du béton frais

Le tableau suivant 5.9 Montre que le rapport E/C était très variable car la quantité d'eau nécessaire utilisée est dépend de deux facteurs : pourcentage d'absorption d'eau des granulats gros et fins recyclés et la présence de l'adjuvant super plastifiant haut réducteur d'eau. Ainsi que le pourcentage d'absorption d'eau des granulats gros et fins recyclés était modifié car les agrégats recyclés sont utilisés après une immersion dans l'eau pour 10min et 24 h à l'air. Donc c'est difficile de fixé la quantité d'eau ou bien le rapport E/C. Alors pour avoir un affaissement compris entre 50 et 90 mm au cône d'Abrams on a suit une loi générale liant les pourcentages des granulats recyclés et la quantité d'adjuvant utilisée à la quantité d'eau nécessaire au mélange pour obtenir une fluidité constante.

$E = E \text{ réel} + (\% \text{ d'absorption d'eau} - \% \text{ de la quantité d'eau réduit par l'effet de l'adjuvant})$.

Tableau 5.9: Rapport E/C et Slump teste des différents pourcentages de substitution en gros et fins granulats recyclés.

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant		Type de béton	rapport E/C	Affaissement (cm)
0%	*		béton témoin	0,547	5,2
20%	A1	1%	BAGF20 A1P1	0,505	6,8
		1,2%	BAGF20 A1P2	0,495	7,1
	A2	1%	BAGF20 A2P1	0,495	8
		1,2%	BAGF20 A2P2	0,486	7
30%	A1	1%	BAGF30 A1P1	0,523	7,5
		1,2%	BAGF30 A1P2	0,494	5,4
	A2	1%	BAGF30 A2P1	0,523	8,5
		1,2%	BAGF30 A2P2	0,512	8,3
40%	A1	1%	BAGF40 A1P1	0,550	7,3
		1,2%	BAGF40 A1P2	0,537	6,6
	A2	1%	BAGF40 A2P1	0,535	8
		1,2%	BAGF40 A2P2	0,523	7,7
50%	A1	1%	BAGF50 A1P1	0,492	7
		1,2%	BAGF50 A1P2	0,483	6,6
	A2	1%	BAGF50 A2P1	0,474	6
		1,2%	BAGF50 A2P2	0,474	6,2

B: indique béton

AGF: indique agrégat combiné (gros & fins).

20, 30, 40, 50: indique le pourcentage de déchet introduit.

A1, A2 : les deux adjuvants utilisés : A1 MEDA FLUID, A2 MEDAFLOW.

P1, P2 : pourcentage d'adjuvant 1%, 1.2% successivement.

5.3.2- Béton durci

5.3.2.1- La masse volumique du béton durci

L'homogénéité des bétons recyclés semble être en tout point comparable à celle du béton ordinaire (témoin). Par contre la masse volumique du béton recyclé durci est nettement inférieure à celle du béton ordinaire (témoin).

Les masses volumiques du béton durci à différents pourcentages de déchet sont représentées dans le tableau 5.10 :

Tableau 5.10 : Valeurs de E/C et densité du béton durci des différents pourcentages de substitution en granulats combiné recyclés.

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant	Type de béton	rapport E/C	Masse Volumique (Kg/m3)	
0%	*	béton témoin	0,547	2432	
20%	A1	1%	BAGF20 A1P1	0,505	2333
		1,2%	BAGF20 A1P2	0,495	2331
	A2	1%	BAGF20 A2P1	0,495	2293
		1,2%	BAGF20 A2P2	0,486	2312
30%	A1	1%	BAGF30 A1P1	0,523	2346
		1,2%	BAGF30 A1P2	0,494	2375
	A2	1%	BAGF30 A2P1	0,523	2237
		1,2%	BAGF30 A2P2	0,512	2350
40%	A1	1%	BAGF40 A1P1	0,550	2297
		1,2%	BAGF40 A1P2	0,537	2349
	A2	1%	BAGF40 A2P1	0,535	2256
		1,2%	BAGF40 A2P2	0,523	2235
50%	A1	1%	BAGF50 A1P1	0,492	2377
		1,2%	BAGF50 A1P2	0,483	2463
	A2	1%	BAGF50 A2P1	0,474	2388
		1,2%	BAGF50 A2P2	0,474	2420

5.3.2.2- Résistance à la compression

Cet essai est effectué sur des éprouvettes cubiques de 15 cm de côté.

Cet essai est effectué à l'âge de 28 jours pour toutes les compositions, dont le but est de suivre l'évolution de la résistance à la compression du béton contenant le déchet. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 5.11 Résistance à la compression des bétons recyclés à base de granulats concassés combinés.

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant		Type de béton	résistance à la compression (MPa) à 28 jours
	A1	A2		
0%	*		béton témoin	33,61
20%	A1	1%	BAGF20 A1P1	23,3
		1,2%	BAGF20 A1P2	23,67
	A2	1%	BAGF20 A2P1	21,63
		1,2%	BAGF20 A2P2	32,88
30%	A1	1%	BAGF30 A1P1	26,88
		1,2%	BAGF30 A1P2	28,04
	A2	1%	BAGF30 A2P1	19,9
		1,2%	BAGF30 A2P2	32,44
40%	A1	1%	BAGF40 A1P1	23,41
		1,2%	BAGF40 A1P2	31,16
	A2	1%	BAGF40 A2P1	24,17
		1,2%	BAGF40 A2P2	25,21
50%	A1	1%	BAGF50 A1P1	25,05
		1,2%	BAGF50 A1P2	27,57
	A2	1%	BAGF50 A2P1	29,33
		1,2%	BAGF50 A2P2	29,72

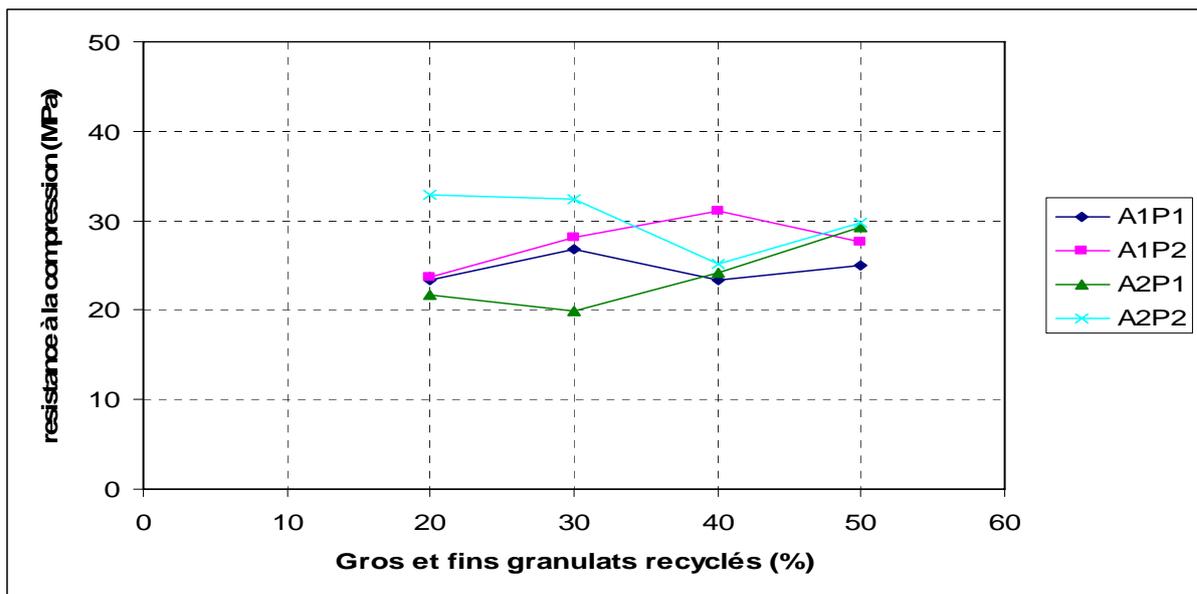


Fig 5.5: Variation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de substitution en gros et fins granulats de béton concassé.

Commentaire: d'après le tableau 5.11, nous remarquons que la résistance à la compression de béton à base des agrégats concassés combiné est inférieure à celle du béton témoin, car l'effet combiné du pourcentage de substitution en gros et fins granulats recyclés semble d'être beaucoup plus néfaste sur la résistance à la compression de béton recyclé. Ceci s'explique sans doute par le pourcentage de granulats fins recyclés qui sont beaucoup plus porteur de mortier inerte d'ancien béton.

Concernant l'allure générale de quatre courbes, nous remarquons que chaque courbe a sa tendance. Ce qui complique l'interprétation des graphes. D'autres études sont nécessaire pour infirmer ou confirmer les résultats obtenus.

5.3.2.3- Résistance à la traction

Cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de 7x7x28cm.

Cet essai est effectué à l'âge de 28 jours pour toutes les compositions, dont le but est de suivre l'évolution de la résistance à la traction du béton contenant le déchet. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 5.12: Résistance à la traction des bétons recyclés à base de granulats concassés combinés

Pourcentages de déchets	Type d'adjuvant	Type de béton	résistance à la traction (MPa) à 28 jours	
0%	*	béton témoin	3,56	
20%	A1	1%	BAGF20 A1P1	2,18
		1,2%	BAGF20 A1P2	3,19
	A2	1%	BAGF20 A2P1	1,99
		1,2%	BAGF20 A2P2	2,49
30%	A1	1%	BAGF30 A1P1	3,1
		1,2%	BAGF30 A1P2	3,24
	A2	1%	BAGF30 A2P1	1,91
		1,2%	BAGF30 A2P2	2,72
40%	A1	1%	BAGF40 A1P1	2,58
		1,2%	BAGF40 A1P2	2,55
	A2	1%	BAGF40 A2P1	2,06
		1,2%	BAGF40 A2P2	2,07
50%	A1	1%	BAGF50 A1P1	2,1
		1,2%	BAGF50 A1P2	2,25
	A2	1%	BAGF50 A2P1	2,36
		1,2%	BAGF50 A2P2	2,38

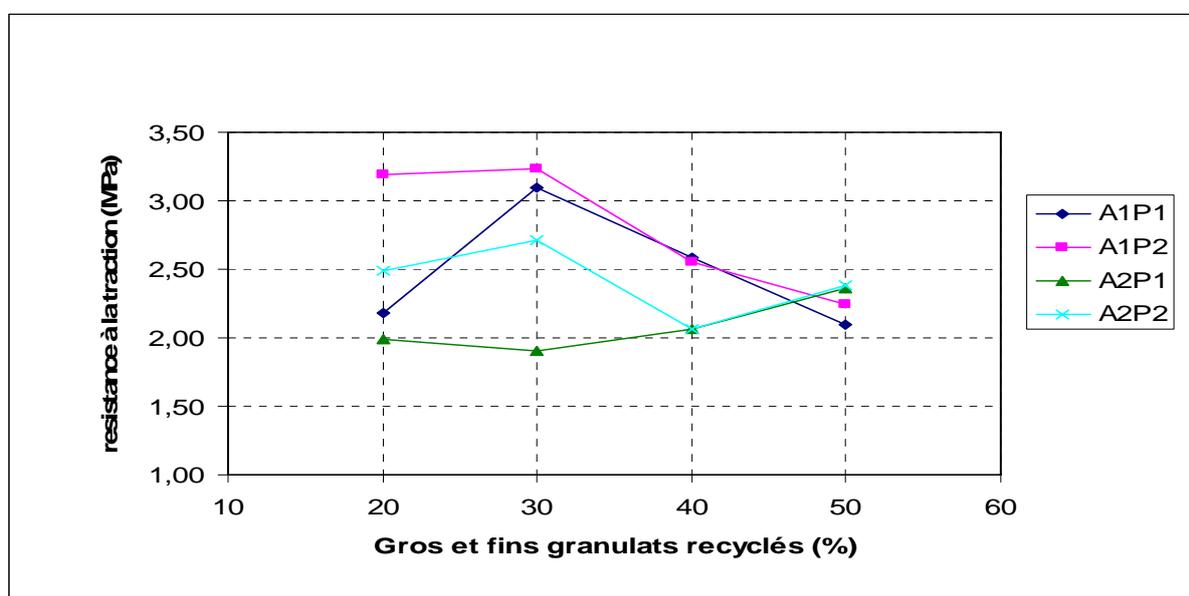


Fig 5.6: Variation de la résistance à la traction en fonction du pourcentage de substitution en gros et fins granulats de béton concassé.

Commentaire: Le tableau 5.12, résumé les résultats de la résistance à la traction pour les différents types de béton à l'âge de 28 jours.

La figure 5.6 montre la chute de résistance à la traction du béton de granulats recyclé par rapport à celle du béton ordinaire (témoin).

En comparaison avec la résistance à la traction du béton naturel, le béton recyclé présente une chute en fonction du pourcentage de substitution en granulats combiné recyclés, cela reste vrai pour certaines courbes (A1P1, et A1P2), et déjà confirmé par d'autre chercheur,.pour les autres courbes (A2P1, et A2P2) ne sont pas confirmé et cela est analogue au essais précédentes .

5.3.2.4- Conclusion

De fait que les resultats obtenues sont déficiles a interpréter , on peut dire:

- la résistance obtenue reste acceptable jusqu'à 50% de substitution
- La résistance obtenue est généralement plus faible que celle obtenu pour les gros et fins agrégats.

Conclusion générale et recommandation

- ❖ D'après la recherche bibliographique, le matériel de production d'agrégats recyclés n'est pas très différent de celui de la production d'agrégats naturels. Le concasseur à marteaux produit une bonne distribution de forme de grains d'agrégats recyclés comparable à celle des agrégats naturels.
- ❖ A cause d'existence d'une quantité non négligeable de mortier inerte d'ancien béton dans les agrégats recyclés. La densité d'agrégats recyclés est environ de 10% plus faibles et l'absorption d'eau est beaucoup plus grande que ceux des agrégats naturels.
- ❖ Les résultats de cette étude ont montré qu'il est possible de fabriquer un béton à base d'agrégats de béton concassée et de caractéristiques mécaniques acceptables.
- ❖ L'adjuvant superplastifiant influe favorablement sur les propriétés physique et mécanique du béton recyclé.
- ❖ la relation entre la résistance mécanique et le pourcentage de l'adjuvant c'est une relation proportionnelle.
- ❖ Le prémouillage des granulats recyclés diminue l'absorption d'eau qui implique une réduction dans le rapport E/C.

Pour des études ultérieures, nous recommandons :

- De refaire l'ensemble des études pour infirmer ou confirmer les résultats observés
- D'effectuer des essais sur les éléments structuraux.
- De faire incorporer les déchets pour des pourcentage plus élevé jusqu'à 100%.
- De faire incorporer les déchets avec des autre pourcentage de l'adjuvant.
- D'étudier le comportement à long terme du béton avec des différents pourcentage de substitution en gros et fins granulats recyclés (effet du retrait, fluage, vieillissement, durabilité, ...etc.).
- D'effectuer une étude technico-économique approfondie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Wallonie** : les déchets de construction et de démolition (C& D) www.wallonie.com.
- [2] **A.KOMAR** : Eléments de construction.
- [3] **Bedjou.S** : Etude du recyclage de débris de briques. Thèse de MAGISTERE.ENP (année 2003).
- [4] **Debieb.F** : Valorisation de déchet de brique et béton de démolition comme agrégat de béton. Thèse de magister université de Blida 1999.
- [5] **Société royale belge des ingénieurs et des industriels** : Valorisation de déchets en matériaux recyclés pour la construction. www.srbii.be.
- [6] **Pimienta .P, Ruban .M** : Recyclage des déchets de démolition à base de plâtre. FRA. Edition 1997.
- [7] **F Ridgley. H** :Riding the construction and demolition wave in California. Waste Age 29 (6), juin 1998, PP. 108 – 115.
- [8] **Taibi.M** : Contribution à la valorisation des déchets plastiques à base de P.E.T dans le domaine du génie civil. Mémoire de P.F.E. ENP (année 2003).
- [9] **Butenwizer.I & Favennec.M** : "Le recyclage-concassage des matériaux minéraux issus de la démolition au danemark et aux Pays-Bas", cahier du CSTB, n°2794, France, Avril 1995.
- [10] **Depaw. C** : "Recyclage des décombres d'une ville sinistrée",CSTC, revue n°4, Belgique, décembre 1982, pp. 12-28.
- [11] **Georges DREUX & Jean FESTA** : Nouveau guide du béton et des ses constituants.
- [12] **Nasr-eddine Kedjour** : Le laboratoire du béton.
- [13] **Association technique de l'industrie des liants hydrauliques**, sous la direction de **Jacques BARON** et **Jean Pierre OLLIVIER** : Les bétons ; Bases et données pour leur formulation.
- [14] **Ghrieb .A & Ikhlef .E** : Influence de la résistance du béton sur le comportement des poutres en béton armé soumise à la flexion. Mémoire de P.F.E. ENP année 2001.
- [15] Norme Française. Granulats. Analyse granulométrique par tamisage, AFNOR, Paris, 1990.
- [16] Norme française : « Granulats - Equivalent de sable », AFNOR, Paris, Septembre 1998.
- [17] Norme Française : Mesures des masses volumiques, coefficients d'absorption et teneur

en eau des sables, AFNOR, Paris, décembre 1990.

[18] Norme Française : Granulats. Détermination de la propreté superficielle, AFNOR, Paris.

[19] Norme française : « Granulats - Essai de Los Angeles », AFNOR, Paris, Septembre 1990.

[20] Norme française : « Granulats - Essai d'usure Micro-deval », AFNOR, Paris, Septembre 1990.

[21] Fiche technique du ciment CPJ CEM II/A 32.5.

[22] Fiche technique des adjuvants, GRANITEX année 2003.

[23] Norme française : « Béton - essais de compression » AFNOR, Paris 1981.

[24] Norme française : « Béton - essais de flexion » AFNOR, Paris 1981.

[25] **L.BELAGRAA, M. BEDDAR**: Admixtures effect on mechanical strength of a concrete made of recycled aggregate. INTERNATIONAL CONGRESS, global construction: ultimate concrete opportunities. 5-7 July 2005; Dundee, Scotland.

Annexe



Figure 1: Tamiseuse



Figure 2: Malaxeur



Figure 3: Eprouvettes du béton avant démoulage.



Figure 4: Affaissement de cône d'abrams



Figure5: Eprouvettes après démoulage .



Figure 6: Machine de traction par flexion



.Figure 7: Machine de compression