

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMECRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNEMENT
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
Ecole Nationale Polytechnique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie civil
Laboratoire de Construction et Environnement

Projet de fin d'Etude

THEME

Traitement et valorisation
d'un déchet pétrolier dans le
domaine du génie civil

Dirigé par :

M^R R.BOUTEMEUR
M^R A.LARIBI

Présenté par :

M. MAACHE
M^{ed}.L CHABBI

Promotion 2005

DÉDICACES :

Je dédie ce travail :

A mes très chers parents Farida et Mourad qui m'ont toujours soutenu,

A ma sœur Amel et à mon frère Adel ,

A mes grands parents Ouerida et Abderahaman et à toute ma famille,

A ma très chère Mina,

*A Kareem 7, Sofiane, Sidali, Toufik, Toufik Barett, Mehdi gringo, Malik, Djamel, Walid,
Nabil, Raouf, Hani, Maha, Redha et à tous mes amis,*

A la mémoire de mes grands parents Hassina et Mouloud,

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin,

Mounir MAACHE.

Je dédie ce travail :

A Ma mère Farida et à mon père hocine,

A mes frères Redouane, Issam, Sami et à toute ma famille,

A Mes amis Brahim, Azzedine, Yaakoub, Chouaib,

A tous ceux qui m'ont soutenu,

M^{ed} Lotfi CHABBI.

REMERCIEMENTS :

*Ce travail a été effectué au laboratoire central des Travaux Publics **LCTP** ainsi qu'au laboratoire de l'Entreprise Nationale des granulats **ENG** sous la direction de messieurs **HADID** et **SOUILEM (LCTP)**, **MAAMERI** et **BOUMADJI (ENG)**, qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude pour l'assistance et les encouragements et pour leurs aides précieuses.*

*Nous tenons à exprimer notre reconnaissance à Monsieur **Mourad MAACHE** pour sa disponibilité et qui a grandement contribué à la réalisation de ce travail.*

*Nos sincères remerciements à nos promoteurs Monsieur **BOUTEMEUR** et Monsieur **LARIBI** pour leurs précieux conseils et leurs aides qui nous ont permis de réaliser ce projet dans les meilleures conditions.*

*Nos vifs remerciements à Mr **SILHADI**, Mme **CHIKH**, Mme **BAUCHE**, Mme **MORSLI** pour l'intérêt qu'ils ont accordé à ce travail et nous les remercions pour avoir accepté de l'examiner.*

Nous tenons à remercier nos familles et nos amis pour leur soutien indéfectible.

LIETES DES FIGURE

Figure I.1 : Cycle de vie du déchet	07
Figure I.2 : Relation producteurs - consommateurs	13
Figure I.3. Stratégies de gestion des déchets	14
Figure I.4 : Cycle des déchets et sous-produits dans un processus de fabrication ou de traitement	15
Figure III.1 : Courbe granulométrique des granulats	36
Figure III.2 : Courbe granulométrique du déchet.	43
Figure IV.1 : Courbe de référence selon Faury.	49
Figure IV.2 : Courbe de Mélange selon Faury.	54
Figure IV.3 : Essai de compression	59
Figure IV.4 : Essai de traction par flexion	59
Figure IV.5 : Essai sur une bordure de trottoir.	60
Figure V.1 : courbe comparative des masses volumiques.	63
Figure V.2. Evolution de la masse volumique du béton en fonction du pourcentage de déchet	64
Figure V.3 : la résistance à la compression en fonction du pourcentage de déche	66
Figure V.4 :la résistance à la traction par flexion en fonction du pourcentage de déchet	68
Figure V.5 : La masse volumique en fonction du rapport E/C	69
Figure V.6 : Evolution de la résistance à la compression du béton	71
Figure V.7 : Evolution de la résistance à la traction par flexion du béton	72
Figure V.8 : Evolution de la masse volumique du béton sous l'effet de l'adjuvant.	75
Figure V.9: l'influence de l'adjuvant sur la résistance à la compression	76
Figure V.10: l'influence de l'adjuvant sur la résistance à la traction	77

LISTES DES TABLEAUX

Tableau I.1 Différents types de déchets	09
Tableau II.1 : Liste des déchets industriels ultimes à stabiliser	19
Tableau II.2. Proportions des principaux produits d'hydratation du ciment portland	23
Tableau II.3. Les résultats obtenus par l'utilisation des deux absorbants	25
Tableau II.4 : Critères d'admission des déchets ultimes	29
Tableau III.1 : Caractérisation chimiques des granulats.	29
Tableau III.2 : Analyse granulométrique des différents granulats.	31
Tableau III.3 : Les résultats des poids spécifiques.	36
Tableau III.4 : Résultats des essais.	37
Tableau III.5 Appréciation du module de finesse	38
Tableau III.6 : Valeurs de la propriété superficielle.	39
Tableau III.7 : Appréciation de la résistance à la fragmentation	40
Tableau III.8 : résultats de Los-Angeles.	40
Tableau III.9 : Appréciation de la dureté MICRO-DEVAL	41
Tableau III.10 : Les résultats des essais MICRO-DEVAL	42
Tableau III.11 : Analyse granulométrique du déchet	42
Tableau III.12 : Caractérisation du déchet.	43
Tableau III.13 : Analyse par Fluorescence X	44
Tableau IV.1 : pourcentages des granulats pour la courbe de mélange.	53
Tableau IV.2 : Appréciation de la consistance du béton en fonction de l'affaissement.	58
Tableau V.1. Mesure de l'affaissement pour chaque pourcentage de déchet	62
Tableau V.2. La masse volumique du béton frais	63
Tableau V.3 : La masse volumique du béton durci	64
Tableau V.4. La charge à la rupture du béton à 7, 14 et 28 jours (compression).	65
Tableau V.5. La résistance à la compression du béton à 7, 14 et 28 jours	65
Tableau V.6: pourcentage de la résistance à la compression par rapport au béton témoin	65
Tableau V.7 : La charge à la rupture du béton à 7, 14 et 28 jours (traction).	67
Tableau V.8: La résistance à la traction par flexion du béton à 7, 14 et 28 jours	67
Tableau V.9: pourcentage de la résistance à la traction par rapport au béton témoin.	67
Tableau V.10. : L'effet de E/C sur l'affaissement et la masse volumique	69

Tableau V.11. La masse volumique du béton durci dosé à 20% de déchet.	70
Tableau V.12. La résistance à la compression en fonction du rapport E/C	70
Tableau V.13 : La résistance à la traction par flexion en fonction du rapport E/C	72
Tableau V.14 Mesure de l'affaissement sous l'effet de l'adjuvant.	73
Tableau V.15. La masse volumique du béton frais sous l'effet de l'adjuvant	74
Tableau V.16 : Comparaison de La masse volumique.	74
Tableau V.17. La masse volumique du béton durci sous l'effet de l'adjuvant	75
Tableau V.18: La résistance à la compression sous l'effet de l'adjuvant	76
Tableau V.19. : La résistance à la traction par flexion sous l'effet de l'adjuvant	77
Tableau V.20: Comparaison des résistances à la traction, et à la compression	78
Tableau V.21. La résistance à la traction par flexion de la bordure de trottoir	79

Sommaire

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Liste des tableaux	
Liste des figures	

Introduction générale	1
------------------------------------	---

CHAPITRE I GESTION ET VALORISATION DES DECHETS SOLIDES

I.1. Introduction.....	4
I.2. Définition de la pollution	4
I.3. Caractérisation de la pollution.....	4
I.4. Différents paramètres indicateurs de la pollution industrielle	5
I.4.1. Métaux lourds	5
I.4.2. Hydrocarbures	6
I.5. Définition d'un déchet	6
I.6. Généralités sur les déchets	8
I.6.1. Les déchets ménagers et assimilés	8
I.6.2. Les déchets de l'agriculture et des industries agroalimentaires	8
I.6.3. Les déchets industriels	8
I.6.4. Déchets fermentescibles	8
I.6.5. Les principales catégories des déchets	8
I.7. Gestion des déchets solides en Algérie.....	10
I.7.1. Introduction	10
I.7.2. Réglementation des déchets en Algérie	11
I.7.3. Situation en matière de gestion des déchets solides en Algérie	12
I.8. Stratégies de gestion et filières de traitement.....	12
I.8.1. Stratégies de gestion des déchets	13

CHAPITRE II GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES DECHETS

II.1. Introduction	17
II.2. Généralités sur le procédé de stabilisation solidification.....	17
II.2.1. Solidification	17
II.2.2. La stabilisation	17
II.2.3. Déchets à stabiliser/solidifier	19
II.2.4. Critères d'admission des déchets dans un centre de stockage de déchets ultimes stabilisés	20
II.2.5. Caractérisation des déchets stabilisés/solidifiés.....	20
II.2.5.1. Tests réglementaires	21
II.2.5.2. Etude approfondie	21
II.3. Procédé de stabilisation / solidification par des liants hydrauliques.....	22

II.3.1. Ciment portland	22
II.3.2. Ciment / Cendre volante	23
II.3.3. Chaux / Cendre volants	23
II.3.4. Ciment / Silicates solubles	24
II.3.5. Argiles / Carbonates	24
II.4. Procédé d'enrobage à l'aide de liants bitumineux	25
II.4.1. Liants bitumineux	25
II.4.1.1. Origines et compositions	26
II.4.2. Les enrobés bitumineux	26
II.4.2.1. Fabrication des enrobés bitumineux	27
II.4.2.2. Les qualités exigées des enrobés bitumineux	27
II.5. Procède de stabilisation/solidification par vitrification	28
II.6. Essai De Lixiviation	28

CHAPITRE III CARACTERISATION DES MATERIAUX

III.1. Les matériaux utilisés	31
III.1.1. Granulats	31
III.1.1.1. Origine des granulats	31
III.1.1.2. Caractéristiques chimiques	31
III.1.2. Ciment	32
III.1.3. Eau de Gâchage	33
III.1.4. Déchet industriel	33
III.2. L'échantillonnage des matériaux	34
III.2.1. But de l'opération	34
III.2.2. Préparation de l'échantillon	34
III.2.3. Le quartage	34
III.2.4. Les échantillonneurs	34
III.2.5. Poids de l'échantillon	35
III.3. Caractérisation des granulats	35
III.3.1. Analyse granulométrique	35
III.3.1.1. La courbe granulométrique	35
III.3.2. Masses volumiques spécifiques des granulats	37
III.3.3. Porosité, coefficient d'absorption et teneur en eau	37
III.3.4. Module de finesse	38
III.3.5. La propreté superficielle	38
III.3.6. Equivalent de sable	39
III.3.7. La résistance mécanique	39
III.3.7.1. La résistance à la fragmentation (Essai Los-Angeles)	39
III.3.7.2. La résistance à l'attrition et à l'usure (Micro-Deval)	41
III.3.8. Caractérisation du déchet	42
III.3.8.1. Analyse granulométrique	42
III.3.8.2. La courbe granulométrique	43
III.3.8.3. Autres caractéristiques	43
III.3.8.4. Analyse chimique du déchet	44

CHAPITRE IV METHODES D'ANALYSES ET D'ESSAIS

IV.1 Composition granulaire du béton	46
IV.1.1 Méthode de Faury	46
IV.1.2. Tracé de la Courbe granulométrique de référence	47
IV.1.3 Détermination des pourcentages absolu des agrégats	50
IV.1.4 Calcul de l'indice des vides	50
IV.1.5 Calcul du volume absolu des matières sèches	51
IV.1.6. Détermination les poids de Composition de béton	51
IV.1.7.Calcul de la densité théorique	51
IV.2 Types des éprouvettes utilisées et les poids nécessaire pour chaque coulage	52
IV.3 Mode opératoire et malaxage	52
IV.4 Incorporation du déchet	52
IV.5 Courbe réel de mélange (ciment +sable +gravier)	53
IV.6. Classification et utilisation des adjuvants	55
IV.6.1 Définition	55
IV.6.2 Classification	55
IV.6.3 Plastifiant réducteurs d'eau	56
IV.6.4 Présentation du PLASTIMENT BV 40	56
IV.6.4.1 Domaine d'application	56
IV.6.4.2 Caractères généraux	57
IV.7. Modalité des essais	57
IV.7.1. Essai sur béton frais	57
IV.7.1.1. L'essais d'affaissement au cône d'Abrams	57
IV.7.1.2.Mesure de la masse volumique du béton frais :	58
IV.7.2 Essai sur béton durci	58
IV.7.2.1 Détermination de la masse de l'éprouvette et de sa masse volumique	58
IV.7.2.2 Essais mécaniques	59
IV.7.2.2.1 Essai de compression	59
IV.7.2.2.2 Essai de traction par flexion	59
IV.7.3 Essai sur une bordure de trottoir	60

CHAPITRE V RESULTATS ET INTERPRETATIONS

V.1. Essais sur béton frais	62
V.1.1. Affaissement au cône d'Abrams	62
V.1.2. La masse volumique	63
V.2. Essais sur béton durci	64
V.2.1. La masse volumique du béton durci	64
V.2.2. La résistance à la compression	65
V.2.3. La résistance à la traction par flexion	67
V.3. Etude de l'influence du rapport E/C	69
V.3.1. Béton frais	69
V.3.2. Béton durci	70
V.3.3. L'effet du rapport E/C sur la résistance à la compression	70
V.3.4. L'effet du rapport E/C sur la résistance à la traction par flexion	72
V.4. Etude de l'influence de l'adjuvant	73
V.4.1. Essai sur béton frais	73
V.4.1.2. La masse volumique	74
V.4.2. Essais sur béton durci	75

V.4.2.1. La masse volumique du béton durci	75
V.4.2.2. L'effet de l'adjuvant sur la résistance à la compression	76
V.4.2.3. L'effet de l'adjuvant sur la résistance à la traction	77
V.5. Les résultats de l'essai de lixiviation	79
V.6. Essai sur les bordures de trottoir	79
Conclusion générale	81
Annexe	
Références bibliographiques	

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

INTRODUCTION GENERALE

La protection des espaces naturels et des paysages, la préservation des espèces animales et végétales, le maintien des équilibres biologiques auxquels ils participent et la protection des ressources naturelles contre toutes les causes de dégradation qui les menacent sont d'intérêt général. Autrement dit, la protection de l'environnement est devenue un enjeu majeur pour l'avenir de notre planète.

L'Algérie comme beaucoup d'autres pays fait face à de sérieux problèmes de dégradation de l'environnement et de pertes de ressources naturelles.

Depuis la création d'un ministère de l'environnement, tout un mouvement d'idées lent mais continu a pénétré l'administration algérienne, les entreprises, les planificateurs, les associations, et plus récemment les partis politiques : protection de la nature et lutte contre les pollutions sont devenues non pas une idée à la mode, mais une réalité nécessaire, un impératif de survie et un préalable au développement durable.

Le droit de l'environnement, expression locale d'un mouvement international, va apparaître comme une nouvelle branche du droit non pas isolée des autres, mais au contraire éclairant d'une lumière nouvelle l'ensemble des disciplines juridiques traditionnelles.

L'Algérie affronte aujourd'hui de nombreux problèmes liés à :

- ❖ La gestion des ressources naturelles (eau, espaces).
- ❖ La lutte contre les pollutions et les nuisances.
- ❖ La protection et la préservation des patrimoines.

Face à la situation critique atteinte en matière d'environnement, les pouvoirs publics ont élaboré une **Stratégie Nationale Environnementale (SNE)**, impliquant l'élaboration de politiques publiques efficaces, le renforcement du cadre réglementaire et législatif, la gestion durable des ressources naturelles et l'amélioration du cadre de vie des citoyens.

Pour atteindre ces objectifs il est nécessaire de faire participer toutes les spécialités particulièrement le génie civil qui est considéré comme l'un des plus importants secteurs consommateurs de ressources naturelles (granulats). En effet le marché des granulats en Algérie vit une tension assez aigue du fait de la limitation et de l'épuisement des ressources dans certaines régions du pays. La récupération des déchets représente une des solutions la plus adéquate pour l'atténuation des impacts négatifs des activités industrielles sur l'environnement.

Notre étude porte sur une contribution à la valorisation d'un déchet industriel qui est nuisible à l'environnement en raison de son caractère polluant. Cette étude fait suite à des travaux de même nature réalisés au sein du laboratoire LCE du département génie civil.

Le déchet utilisé a été prélevé au centre de NAFTAL EL-HARRACH. On le trouve sous forme de boue récupérée lors du nettoyage des bacs de stockage d'un dérivé pétrolier qui est le Gasoil (Mazout).

Le déchet est formé principalement par la rouille du réservoir en acier, il est considéré comme toxique et nuisible à l'environnement.

Le travail présenté dans ce projet de fin d'études est organisé de la manière suivante :

Le premier chapitre traite des préoccupations environnementales ainsi que de la gestion et la valorisation des déchets solides particulièrement en Algérie.

Le deuxième chapitre, dévoile quelques généralités sur le procédé de traitement choisi, en vue d'atténuer le risque de pollution en utilisant des liants hydrauliques.

Le troisième chapitre a été consacré à la caractérisation des constituants rentrant dans la formulation du béton hydraulique tels que les granulats, ciment.

Le quatrième chapitre illustre les méthodes d'essais utilisées.

Dans le cinquième chapitre, les résultats expérimentaux obtenus suivis des discussions et interprétations sont présentés.

Enfin, une conclusion générale est présentée montrant l'intérêt de cette étude et ouvrant des perspectives pour les recherches à venir.

CHAPITRE I

GESTION ET VALORISATION

DES DECHETS SOLIDES

I.1. Introduction:

Toute vie biologique, toute activité de production ou de consommation a généré, génère et générera toujours des déchets. Ces déchets sont souvent associés à la détérioration de notre environnement et à de multiples risques pour la santé humaine. De ce fait, il est nécessaire d'envisager des solutions de gestion favorables au niveau des déchets potentiels, tant en ce qui concerne leur quantité et leur nature que leur devenir prévisible.

I.2. Définition de la pollution :

« Polluer signifie étymologiquement profaner, souiller, salir, dégrader. Ces termes ne prêtent pas à équivoque et nous paraissent tout aussi adéquats que les longues définitions données par les experts. » [10]

« La pollution consiste en l'introduction dans les milieux, de trop grandes quantités d'agents chimiques, physiques ou biologiques entraînant une altération de l'environnement, de nature à mettre en danger la santé humaine, à endommager les ressources alimentaires, biologiques et les écosystèmes ou encore à détériorer les biens matériels ». [27]

Cette définition correspond aux normes françaises « AFNOR ». D'autres définitions de la pollution ont été avancées, nous retiendrons celle rédigée en 1974 par le comité scientifique officiel de la maison blanche des Etats-Unis pour la protection de l'environnement.

« La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en presque totalité ou en partie comme le sous-produit de l'action humaine, au travers d'effet direct ou indirect altérant les modalités de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico-chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes ». [16]

I.3. Caractérisation de la pollution:

« La pollution de l'environnement peut être subdivisée en :

- pollution due à la réduction de l'espace vital (construction de bâtiments, usines, routes, espaces de loisirs, etc.) ;
- pollution d'origine physique (thermique, sonore, rayonnement) ;
- pollution provoquée par les substances (air, eau et sol) ». [5]

« La pollution est généralement caractérisée par :

- Son origine (sa source).
- La nature des polluants.
- La nature des nuisances.

Comparativement aux déchets d'origine agricole ou d'origine ménagère, les déchets industriels posent un certain nombre de problèmes dus à :

1. La quantité liée à l'importance de la production.
2. Leur diversité : certains d'entre eux sont polluants voire même dangereux. De ce fait leur élimination est impérative même si elle présente des difficultés.
3. Leur valeur économique n'est pas toujours nulle, beaucoup renferment des éléments dont la récupération servira de matières premières à d'autres activités.

Lorsqu'un effluent d'une quelconque industrie est rejeté dans le milieu naturel, il peut induire différentes nuisances, liées tout particulièrement aux substances qu'il véhicule et au milieu récepteur». [4]

I.4. Différents paramètres indicateurs de la pollution industrielle :

L'industrie constitue la source de pollution la plus connue. Les polluants industriels ont la redoutable particularité de contenir parfois des produits nouveaux ou mal connus dont la dangerosité pour le milieu (donc pour l'homme) n'est pas évidente de prime abord. En effet, les rejets industriels souvent polluants, renferment des substances toxiques parmi lesquels nous citons particulièrement les métaux lourds et les hydrocarbures.

I.4.1. Métaux lourds :

« Il existe différents métaux potentiellement toxiques utilisés dans l'industrie, on peut citer :

1. le sélénium.
2. le cadmium.
3. le chrome.
4. le cuivre.
5. le plomb.
6. le mercure.
7. le nickel.
8. le zinc.
9. le fer. » [12]

I.4.2. Hydrocarbures :

Du point de vue chimique, l'hydrocarbure désigne un produit pur, bien défini, constitué de carbone et d'hydrogène. Au sens plus large, ce mot désigne un mélange hétérogène de composés chimiques contenant du carbone, de l'hydrogène avec, parfois, des atomes d'oxygènes, d'azotes et de soufre, et qui est synonyme dans ce dernier cas, d'huile et de produits pétroliers issus essentiellement des matières organiques (végétales et animales) ayant subi des transformations à des pressions et températures élevées, lors de leur enfouissement.

« Compte tenu de la tétravalence de l'atome de carbone et de la monovalence de l'atome d'hydrogène, les hydrocarbures peuvent être classés en trois (03) familles :

- Les hydrocarbures aliphatiques (alcanes, alcènes et alcynes).
- Les hydrocarbures naphthéniques (cycloalcanes, cyclènes et cyclanes)
- Les hydrocarbures aromatiques. » [4]

« On peut montrer la toxicité de ces hydrocarbures comme suit :

- Les alcanes et les cyclanes ne sont généralement pas toxiques. Sous forme gazeuse, et à forte concentration ils pénètrent dans les poumons et donnent des sensations de crampes et une irritation de la muqueuse nasale.
- Le benzène et ses dérivés présentent à faible dose des effets neurotropes (ivresse et puis narcose)
- Deux doses plus élevées provoquent des tremblements musculaires, des convulsions et des dilatations de la pupille chez les animaux. » [17]

I.5. Définition d'un déchet :

Le déchet est défini comme « Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon. ».

D'après la loi française du 15 juillet 1975 : « Est ultime un déchet résultant ou non du traitement des déchets et qui n'est plus susceptible d'être traité dans des conditions techniques et économiques du moment notamment par l'extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux » [18]

Plus récemment, la loi française du 13 juillet 1995 précise : « A compter du 1^{er} juillet 2002, les installations d'élimination des déchets par stockage ne seront autorisées à accueillir que des déchets ultimes. ». On peut alors conclure que des déchets ultimes seules pourraient être acceptés en centre de stockage.

D'après ces deux définitions, la voie à suivre pour assurer une bonne gestion des déchets est :

- Valorisation de la fraction « utile » des déchets.
- Réduction des caractères polluants ou dangereux.
- Stockage des résidus ultimes.

Le cycle de vie d'un déchet est résumé dans la figure suivante :

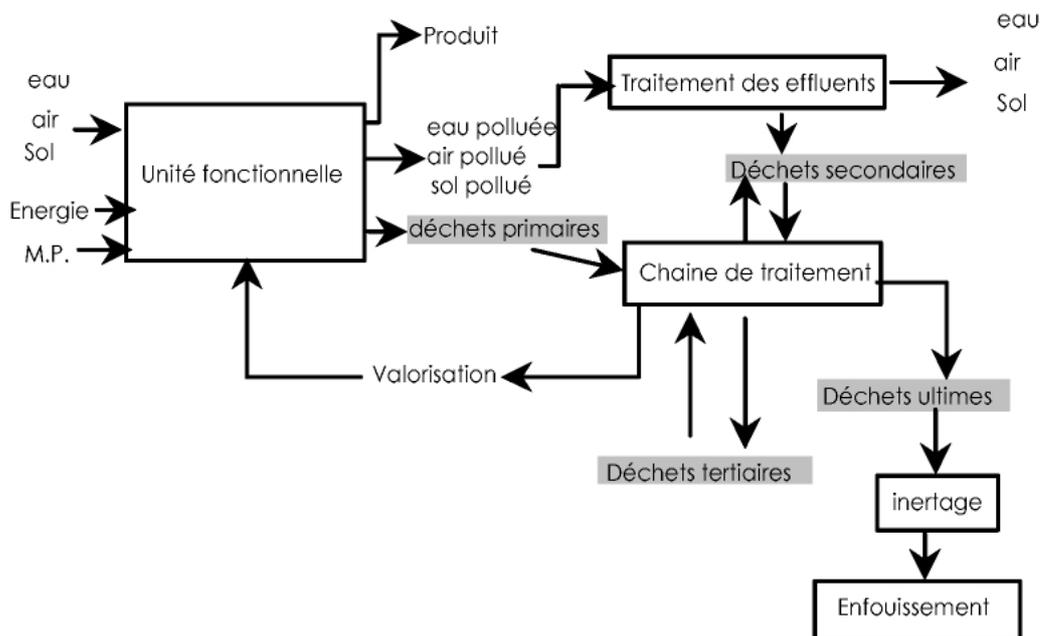


Figure I.1 : Cycle de vie du déchet

I.6. Généralités sur les déchets [4] :

Les déchets sont très divers. Aussi, on a coutume de les désigner en classes tirées selon leurs provenances, parmi lesquelles on distingue :

I.6.1. Les déchets ménagers et assimilés :

Ils proviennent de ménages et de tout ce qui est généré comme tel par les collectivités locales. Les services de collecte absorbent également une partie des déchets produits par diverses activités professionnelles, commerciales et artisanales.

La notion de résidu urbain recouvre tous ces déchets, plus ceux de la collectivité elle-même (les espaces verts, les boues de stations d'épuration...).

I.6.2. Les déchets de l'agriculture et des industries agroalimentaires :

L'évolution de ces secteurs d'activité entraîne une importante quantité de déchets, essentiellement organiques qui ne sont plus toujours réutilisés sur l'exploitation.

I.6.3. Les déchets industriels :

Ils sont constitués par les résidus des procédés de production et de transformation (les déchets chimiques, les emballages souillés, impuretés, copeaux, solvants, rebuts,...).

I.6.4. Déchets fermentescibles :

Déchets composés de matières organiques biodégradables, ils regroupent essentiellement les déchets susceptibles de pourrir (épluchures de légumes, déchets de viande, tonte de gazon,...) les papiers et les cartons, le bois, les textiles sanitaires non synthétiques, et les matières plastiques en sont exclues

I.6.5. Les principales catégories des déchets :

Au regard de la réglementation Algérienne existante, trois grandes catégories de déchets peuvent être retenues :

-Les déchets inertes : un déchet est réputé inerte dès lors que l'on considère que son potentiel polluant par rapport à l'environnement est à peu près nul.

On regroupe dans cette catégorie certains déchets minéraux des activités (mines, carrières) les déblais et les gravats, la fraction minérale des déchets de démolition, certains résidus de l'activité sidérurgique.

-Les déchets banals : un déchet est réputé banal dès lors qu'il peut être traité par les mêmes procédés que ceux utilisés pour les ordures ménagères. Cette catégorie est celle des ordures ménagères et des résidus urbains, on y range également des déchets d'origine industrielle ou commerciale qualifiée « d'assimilables aux ordures ménagères » car elles contiennent les mêmes composants bien qu'en des proportions différentes (emballage et chute en bois, plastique, papier, métaux...)

-Les déchets spéciaux : sont considérés comme déchets spéciaux tous les déchets qui doivent être traités par d'autres procédés que ceux utilisés pour les ordures ménagères. Ils sont majoritairement d'origine industrielle mais également produit par les ménages (déchets toxiques en quantité dispersée DTQD) ou l'activité agricole (les déchets phytosanitaires). Ils contiennent des substances nocives en quantité variable, certains d'entre eux, du fait de leur potentiel toxique sont soumis à des contrôles et des réglementations spécifiques, ce sont les déchets toxiques et dangereux.

La majeure partie des déchets solides industriels algériens est produite par les industries de transformation, notamment l'industrie chimique, l'industrie des minéraux et l'industrie mécanique et électrique. Le tableau suivant résume la nature de ces déchets ainsi que les quantités produites par an :

Nature des déchets industriels dangereux générés par l'industrie nationale.	Quantité (tonnes/an)
Déchets d'origine minérale	55.000
Boues minérales	18.000
Résidus de pétrochimie et cokéfaction	25.000
Solvants organiques et résidus de peinture acide	4.000
Acides	3.000
Boues métalliques et électriques	2.000
Résidus issus de la fabrication et du traitement du plastique	2.500

Tableau I.1 : Différents types de déchets [2].

L'examen de la répartition des déchets industriels sur le territoire national permet de se rendre compte que plus de 82% de ces déchets sont générés par quatre Wilaya, à savoir Annaba, Média, Tlemcen et Oran dont 38.024.000 tonnes de ces déchets sont actuellement stockés dans les entreprises, 37.680.400 tonnes sont des déchets pondéraux et 344.000 tonnes des déchets dangereux ou toxiques.

Une estimation des rejets polluants basée sur un échantillon d'environ 100 unités de production du secteur public, permet d'obtenir un ordre de grandeur significatif de la pollution générée par l'activité industrielle en Algérie. Les résultats de la simulation montrent qu'à l'échelle nationale, les entreprises industrielles génèrent par an:

- Plus de 55.00 tonnes de DBO₅ (demande biologique en oxygène au bout de 5 jours).
- Plus de 134.00 tonnes de matière en suspension.
- Plus de 8.000 tonnes de matière azotée.

I.7. Gestion des déchets solides en Algérie :

I.7.1. Introduction :

L'Algérie a connu, durant la période 2003/2004, dans le cadre de son engagement résolu de réformes politiques et économiques, une activité économique intense et diversifiée, à travers la mise en œuvre, des Plans de Développement Sectoriels ambitieux et opportunément soutenus par le Programme de Relance Economique (7 Milliard USD), selon une approche programmatique et participative de développement durable, à court, moyen et long terme, associant l'ensemble des décideurs, acteurs et partenaires socio-économiques et politiques.

Cette période s'est particulièrement singularisée par le regain de prise de conscience réelle à tous les niveaux politiques et socio-économiques et l'intégration effective de la dimension environnementale.

Les priorités nationales et les objectifs fixés par la Stratégie Nationale et le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAEDD) sont en parfaite harmonie et cohérence avec les différentes Conventions, Accords et Protocoles Internationaux

et Régionaux, et développent ainsi des liens directs et indirects avec ceux inhérents au Partenariat Euro Méditerranéen.

I.7.2. Réglementation des déchets en Algérie :

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

- **Loi N° 83-03 du 05 Février 1983**, relative à la protection de l'environnement dont certains articles ont pour objet la protection des milieux récepteurs (Article 47), et la nécessité d'éliminer les déchets (Article 90).
- **Décret N° 84-378 du 15 Décembre 1984**, fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et de traitement des déchets solides urbains.
- **Le décret exécutif N° 94-43 du 30 Janvier 1994**, fixant les règles de la conservation des gisements d'hydrocarbures et de la protection des aquifères associés (Article 185,178).
- **Loi n 01-19 du 12 décembre 2001** relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- **Loi n°01-20 du 12 Décembre 2001** relative à l'aménagement du territoire dans le cadre du développement durable.
- **Loi n°02-02 du 05 février 2002** relative à la protection et à la valorisation du littoral.
- **Décret N°02-372 du 11 Novembre 2002** relatif aux déchets d'emballages.
- **Loi n°03-10 du 19 juillet 2003** relative à la protection de l'Environnement dans le cadre du développement durable.
- **Loi n°04-03 du 23 Juin 2004** relative à la protection des zones de montagne dans le cadre du développement durable.
- **Loi n°04-09 du 14 août 2004** relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
- **Loi n°04-20 du 25 Décembre 2004** relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable
- Ratification par l'Algérie du Protocole de Kyoto
- Entrée en application de la fiscalité écologique en janvier 2005, le montant de la taxe est de 24.000DA/tonne de déchets liés aux activités de soins des hôpitaux et cliniques et de 10.500 DA/tonne de déchets industriels dangereux stockés. [12]

I.7.3. Situation en matière de gestion des déchets solides en Algérie :

« Le secteur de l'environnement connaît actuellement des mutations à travers notamment le renforcement du cadre juridique et institutionnel.

- **Sur le plan de la politique environnementale**, le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAEDD) fixe les différents programmes environnementaux du pays pour 2001-2010.

- Ces politiques sont appuyées par le Fond National de l'Environnement et de Dépollution (FEDEP) qui intervient notamment pour aider les entreprises industrielles à réduire ou à éliminer leurs pollutions et les unités de collecte, de traitement et de recyclage des déchets, ainsi que par la nouvelle fiscalité écologique basée sur le principe du pollueur payeur afin d'inciter à des comportements plus respectueux de l'environnement.

- **Sur le plan institutionnel**, création de plusieurs organismes :

- Le Centre National des Technologies de Production plus Propres (CNTPP)
- L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable.
- L'Agence Nationale des Déchets.
- Le Conservatoire National des Formations à l'environnement
- Le Centre National de Développement des Ressources Biologiques
- Le Commissariat National du Littoral.
- Le Centre National des Technologies de Productions plus Propres.
- Le Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable. » [3]

I.8. Stratégies de gestion et filières de traitement :

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 (air, eau, 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.

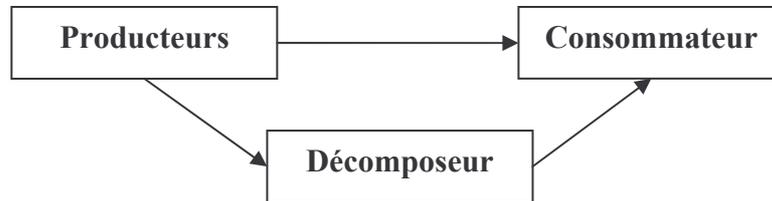


Figure I.2 : Relation producteurs - consommateurs [28]

1.8.1. Stratégies de gestion des déchets :

Il existe cinq stratégies de gestion des déchets [19]

➤ Arrêt de la production du 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.

➤ Optimisation et innovation technologique :

Réduire les quantités de déchets produits et leur toxicité. 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.

➤ Mise en oeuvre 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.

➤ **Rejet "éco-compatible" des déchets :**

Cette stratégie est fondamentale. Dès lors qu'aucune des trois premières stratégies n'est plus envisageable, il y a lieu d'assurer un retour « acceptable » des déchets produits dans un milieu naturel. L'acceptabilité ou éco-compatibilité, peut être définie par le fait que des déchets sont intégrés aux cycles biogéochimiques sans entraîner de dysfonctionnement 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.

La figure suivante résume les différentes stratégies de la gestion des déchets

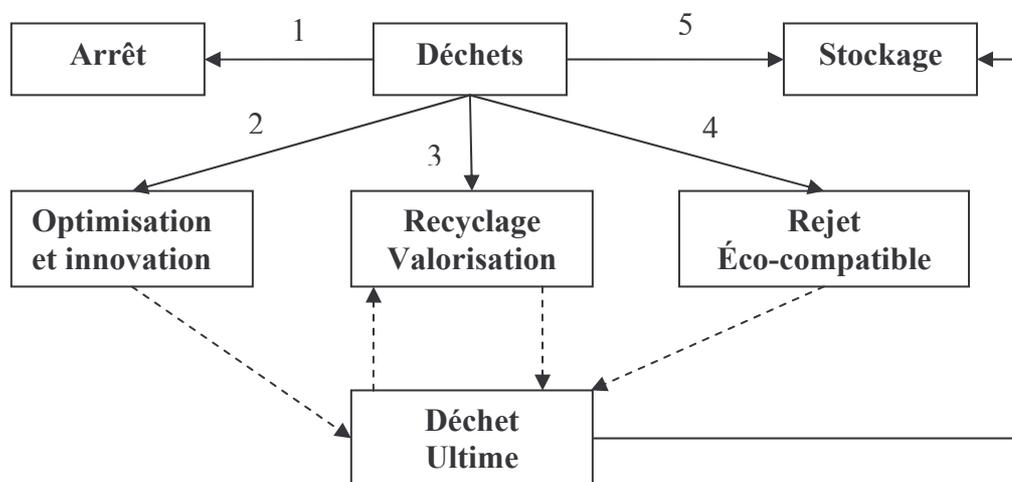


Figure I.3. Stratégies de gestion des déchets

➤ **Stockage :**

Il arrive, et c'est le cas des déchets ultimes, que la solution de stockage sûr, dans ou sous le sol, demeure le recours inévitable.

Avant de procéder aux différentes filières de traitement des déchets, nous allons schématiser le cycle des déchets et sous-produits issus d'un processus industriel.

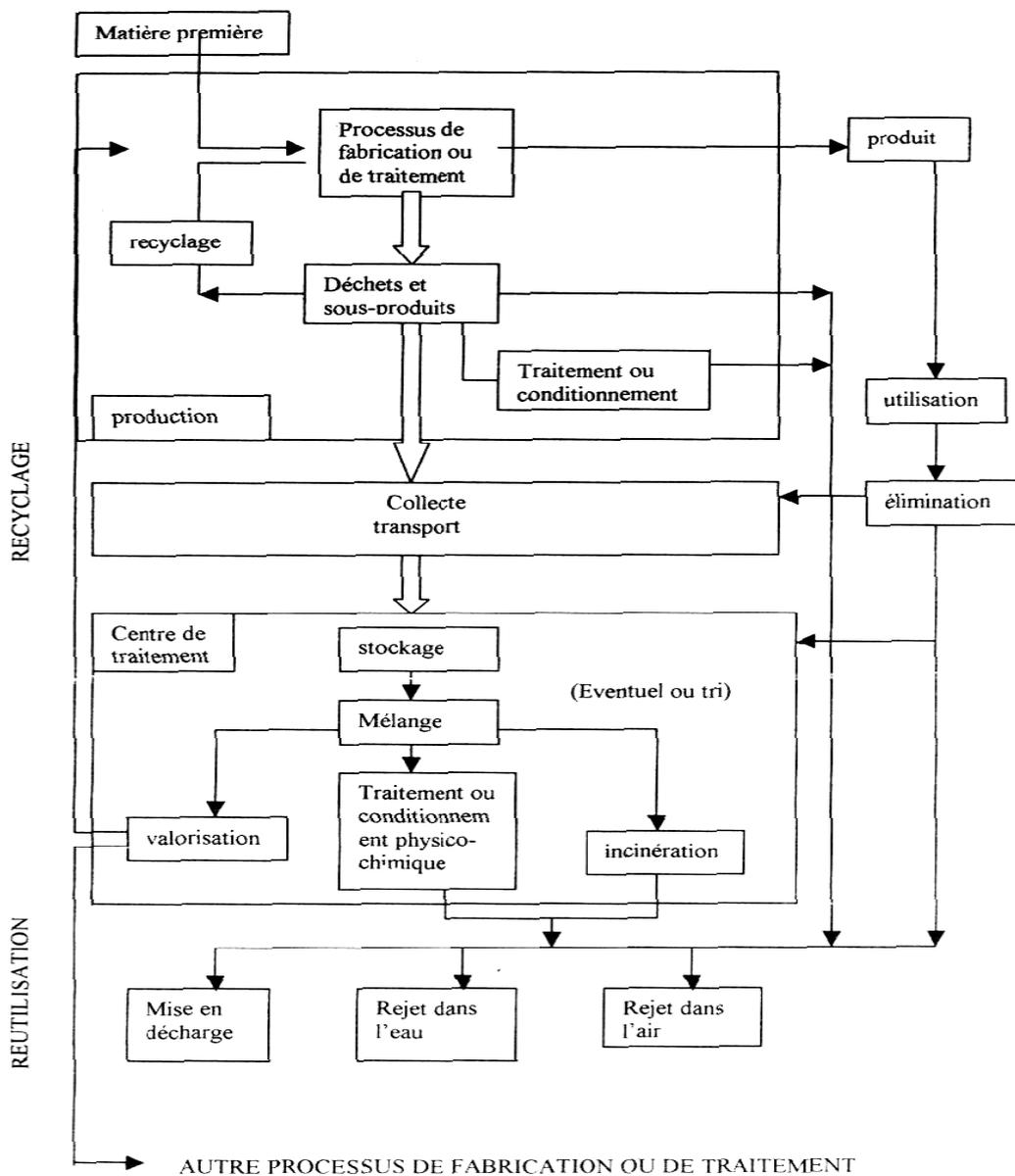


Figure I.4 : Cycle des déchets et sous-produits dans un processus de fabrication ou de traitement

CHAPITRE II

GENERALITES SUR LE

TRAITEMENT DES DECHETS

II.1. Introduction :

L'élimination des déchets comporte notamment les opérations de collecte, transport, stockage, tri et traitement nécessaires à la récupération de l'énergie ou des éléments et matériaux réutilisables, ainsi qu'au dépôt ou au rejet dans le milieu naturel de tous autres produits dans des conditions propres à éviter les nuisances.

Parmi les filières de traitement des déchets déjà cités au chapitre précédent, nous allons nous intéresser de plus près au procédé de stabilisation/solidification.

II.2. Généralités sur le procédé de stabilisation solidification

L'historique du procédé de solidification/stabilisation date seulement de 1970, avec l'établissement de l'agence national de la protection de l'environnement (EPA) aux USA, dont les données ont fourni après l'agrément de l'acte de récupération et conservation des ressources (RCRA) en 1976, cependant l'implantation réelle n'était qu'en 1980 lorsque le système de management des déchets dangereux - toxiques était régularisé et promulgué sous le titre C de RCRA.

De 1990 jusqu'à présent, cette période est considérée comme période de maturation pour ce procédé [28,15]

II.2.1. Solidification :

Le mélange déchet - réactif doit faire prise dans le temps afin d'obtenir une masse solide [13].

Ce processus permet une transformation du déchet en un solide massif sans modification du potentiel intrinsèque de danger du déchet. Le but est de conférer au déchet une structure physique massive afin de limiter au maximum la possibilité de sa dispersion dans l'environnement. En effet, plus la perméabilité du déchet solidifié est faible et sa surface exposée petite, plus la migration des espèces chimiques solubles est ralentie durant la lixiviation. Ce résultat est obtenu en utilisant des liants hydrauliques et/ou en activant le déchet si celui-ci est hydrauliquement réactif [28].

II.2.2. La stabilisation :

Les espèces chimiques présentes dans le déchet doivent être immobilisées.

Ce processus consiste en une rétention physique et/ou chimique des espèces polluantes dans une matrice solide. En ajoutant les réactifs adéquats, certaines espèces, selon leur nature chimique, peuvent être transformées en composés peu solubles ou retenues par des mécanismes d'adsorption ou d'échange d'ions et par d'autres réactions chimiques. La stabilisation fait donc appel à l'ensemble des traitements physico-chimiques [13]

Le produit de ces deux fonctions peut limiter la dispersion de polluants dans le milieu naturel. Un des procédés les plus utilisés actuellement consiste à incorporer les déchets ultimes dans une matrice cimentière (liants hydrauliques) qui réalise en même temps la stabilisation et la solidification seules ou en mélange avec de la chaux ou d'autres additifs, les ciments et autres réactifs pouzzolaniques sont très utilisés en solidification/stabilisation des déchets solides et des boues.

Le terme ciment recouvre dans le langage commun, des matériaux finement broyés qui prennent prise en présence d'eau pour former, après durcissement, une matière solide poreuse : la prise hydraulique qui est due aux réactions d'hydratation des composés du ciment.

Dès l'antiquité, les Romains ont utilisés des mélanges de chaux et pouzzolanes naturelles (cendres volcaniques) ou artificielles (briques d'argile cuite et pilées) pour obtenir un ciment avec lequel ils bâtirent de grands ouvrages dont la durabilité a été fort remarquable.

La stabilisation- solidification des déchets peut être obtenue par l'ajoute d'un ciment ou d'un mélange de réactifs ayant des propriétés pouzzolaniques. Le ciment joue alors le rôle de liant hydraulique.

Certains déchets possèdent par eux –mêmes des propriétés pouzzolaniques et sont donc susceptibles d'entrer dans la composition des ciments commerciaux (comme les laitiers de hauts fourneaux ou les cendres volantes de centrale thermique, par exemple). Ces déchets peuvent aussi intervenir dans la formulation de mélanges réactifs pour le procédé de stabilisation –solidification [28]

II.2.3. Déchets à stabiliser/solidifier :

Les déchets ultimes à stabiliser/solidifier sont classés par la législation française en deux catégories (Tableau ci-dessous) Les catégories A et B regroupe des déchets ultimes pour lesquels la stabilité constitue un critère d'acceptabilité en centre de stockage.

Déchets à stabiliser	Catégorie
<ul style="list-style-type: none"> • Résidus de l'incinération (suies, cendres volantes, poussières fines, déchets de neutralisation ou de lavage des gaz) • Résidus de la métallurgie (poussières, scories et crasses) • Résidus de forages résultant de l'emploi de fluide à base d'hydrocarbures • Déchets minéraux de traitement chimique (oxydes et sels métalliques, catalyseurs usés) 	<p style="text-align: center;">A</p> <p>Déchets devant être stabilisés avant stockage depuis le 30 mars 1995</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Résidus de traitement d'effluents et d'eau industrielle, de déchets ou de sols pollués (boues, résines échangeuses d'ions) • Mâchefers de l'incinération de déchets industriels • Résidus de peinture polymérisés • Résidus de la métallurgie • Résidus de recyclage d'accumulateurs et de batteries • Résidus d'amiante • Réfractaires et matériaux usés et souillés 	<p style="text-align: center;">B</p> <p>Déchets devant être stabilisés avant stockage depuis le 30 mars 1998</p>

Tableau II.1 : Liste des déchets industriels ultimes à stabiliser [7]

II.2.4 Critères d'admission des déchets dans un centre de stockage de déchets ultimes stabilisés :

Les objectifs fixés par le cahier des charges d'un procédé de stabilisation-solidification dépendent essentiellement des modes de gestion prévue pour les solidifiats. Une filière parfaitement définie est celle de l'élimination vers un centre de stockage de déchets ultimes stabilisés après inertage. Dans ce cas le test mis en œuvre pour caractériser le potentiel polluant des déchets est effectué par trois lixiviations successives sur un échantillon broyé du matériau, selon la norme XP X31-210. L'arrêté du 18 décembre 1992 définit les valeurs limites qui représentent les critères d'admission des déchets.

La législation française fixe comme suit les critères d'admission des déchets ultimes en centre de stockage :

« Les déchets admissibles sont essentiellement solides, minéraux, avec un potentiel polluant constitué de métaux lourds peu mobilisables. Ils sont très peu réactifs, très peu évolutifs, très peu solubles. De plus, ces déchets doivent être stabilisés à court terme. Un déchet est considéré comme stabilisé quand sa perméabilité à l'eau et sa fraction lixiviable ont été réduites et quand sa tenue mécanique a été améliorée de façon que ses caractéristiques satisfassent aux critères d'acceptation des déchets stabilisés fixés ».

Les résultats des tests sont exprimés en fonction des modalités de calcul proposé dans l'annexe de la norme XP X31 - 210 et expriment le total des quantités extraites par les lixiviations rapportées à la masse des matériaux.

Un projet de modification de l'arrêté du 18 décembre 1992 prévoit d'ajouter des tests de caractérisation physique pour vérifier la résistance mécanique des déchets et de les classer en tant que solides massifs, solides granulaires ou bien dans aucun de ces deux catégories. Il est alors prévu des tests de lixiviation spécifiques (norme XP X31-211 [20], XP X31-410 ou XP X31-210) adaptés à chacune des catégories définies. [28]

II.2.5. Caractérisation des déchets stabilisés/solidifiés:

Il existe deux niveaux de caractérisation:

Le premier concerne la vérification de la conformité du déchet stabilisé/solidifié avec les critères d'admission en centre de stockage. Il s'agit d'un contrôle réglementaire.

Le second concerne une étude approfondie des phénomènes de solidification et surtout de

stabilisation au sein du déchet stabilisé/solidifié.

Cette étude, destinée à appréhender le comportement du déchet stabilisé à long terme, doit permettre de définir les performances de la stabilisation et de fixer ses limites.

Elle doit aussi fournir des éléments de réflexion relatifs aux devenir possibles des déchets stabilisés/solidifiés, dans la perspective non plus du stockage mais de la réutilisation, en tant que matériaux de construction par exemple [13]

II.2.5.1. Tests réglementaires :

Pour la plupart des déchets, le caractère toxique ou nuisible est lié à la composition chimique. Le traitement de stabilisation/solidification est destiné à mettre une barrière entre ces éléments toxiques et l'environnement. Les textes réglementaires visent alors à vérifier l'efficacité de cette barrière. Le principal agent susceptible de transporter les éléments toxiques du déchet traité vers l'environnement, est l'eau. La plupart des tests réglementaires consistent donc en la mesure d'une fraction lixiviable dans ces conditions arbitraires de contact eau-déchet stabilisé/solidifié.

La durabilité de l'état physique solide massif du déchet traité est vérifiée pour éviter une désagrégation ultérieure importante et, par conséquent, une augmentation de la lixiviation des polluants au contact de l'eau.

II.2.5.2. Etude approfondie :

Il s'agit de :

- Etudier les propriétés physiques et mécaniques du déchet traité,
- Déterminer les phénomènes de fixation des polluants et comprendre les mécanismes de leurs dispersions dans l'environnement

Selon les objectifs, les tests réalisés sont extrêmement divers.

Les mesures de la résistance mécanique, en compression ou en traction, du fluage, du module d'élasticité, de la ductilité, de la densité, de la perméabilité, déterminent les caractéristiques physiques et mécaniques du déchet traité.

La diffraction aux rayons X. la microscopie, optique ou électronique, la spectrométrie infrarouge, la spectroscopie de photoélectrons permettent d'étudier les phénomènes de fixation des polluants.

On conclut que la législation fixe les catégories de déchets ultimes concernées par l'élimination. Elle définit aussi les critères d'admissibilité en centre de stockage.

Les caractéristiques des déchets déterminées par des tests réglementaires sont comparées à ces critères.

Le déchet doit subir un traitement dit de stabilisation/solidification visant à le rendre massif et stable chimiquement. Les procédés de ce type de traitement font l'objet d'une étude approfondie des phénomènes mis en jeu.

II.3. Procédé de stabilisation / solidification par des liants hydrauliques

La stabilisation/solidification d'un déchet à l'aide d'un liant hydraulique consiste à fabriquer un matériau analogue à un béton hydraulique dans lequel des déchets se substituent aux granulats. Les liants hydrauliques sont constitués de sels minéraux anhydres instables. En présence d'eau, ils s'hydratent, forment une pâte qui fait prise et qui durcit progressivement.

Au sens strict du terme, les liants hydrauliques sont les ciments et chaux, les matériaux pouzzolaniques (cendres volantes, scories, ciment au laitier...) sont souvent utilisés en tant qu'additifs à ces liants. Le ciment hydraté, éventuellement additionné de sable pour former un mortier, lie des pierres concassées ou granulats, pour former un béton. Des adjuvants complètent souvent cette composition [28,15]

II.3.1. Ciment portland :

Le terme générique ciment désigne en fait différentes catégories de produits. Une catégorie est définie par sa composition et des classes caractérisant les résistances mécaniques atteintes à des échéances données. C'est l'élément le plus utilisé dans le procédé stabilisation/solidification car il permet de :

- Constituer une source d'élimination de certaines composantes contenu dans les déchets vu sa composition,
- La prise et le durcissement permettent généralement la fixation des éléments réactifs des déchets.

Le ciment dit portland, est constitué principalement de clinker, résultant de la cuisson jusqu'à fusion partielle (vers 1540°C) puis du broyage d'un mélange de roches calcaire et argileuse.

Le mélange du ciment portland et de l'eau s'apparente à un système dispersé constitué d'un réseau de particules dans une phase aqueuse.

Les atomes de ces particules présentent des liaisons insaturées qui, au contact de l'eau, sont le siège ou l'origine de nombreuse réaction d'absorption, d'hydrolyse, de dissolution, de solvation ou de cristallisation.

La pâte de ciment, mélange de ciment et d'eau, se structure au cours de l'hydratation pour devenir une pierre artificielle.

L'hydratation du ciment portland conduit à l'obtention de trois types de produits dont les proportions sont rapportées dans le tableau ci-dessous. [28,15]

Les Proportions des principaux produits d'hydratation du ciment portland sont représentés dans le tableau suivant :

CONSTITUANT	SULFO-ALUMINATES DE CALCIUM ETTRINGITE ET MONOSULFATES	TOBERMORITE C-S-H	PORTLANDITE CA(OH) ₂
Proportion dans le Ciment hydraté	20-30 %	50-70 %	5-15 %

Tableau II.3. Proportions des principaux produits d'hydratation du ciment portland

II.3.2. Ciment / Cendre volante :

Les additions des cendres volantes au ciment lors de sa fabrication date de 1950. Les cendres volantes peuvent remplacer 20 à 30% de ciment portland et permettant d'obtenir une résistance remarquable au-delà de 15 jours tout en augmentant l'imperméabilité et par conséquent la durabilité.

Selon Cote, les cendres volantes contribuent à diminuer le pH des pores et relier l'eau en excès et agissent comme un absorbant pour les ions métalliques et interviennent aussi dans la stabilisation de quelques composants de déchets [15]

II.3.3. Chaux / Cendre volants :

La chaux grasse a été l'un des premiers liants utilisés un peu partout dans le monde. On distingue plusieurs catégories de chaux :

- La chaux vive ou éteinte,
- Les chaux hydrauliques naturelles,
- Les chaux hydrauliques artificielles.

Le traitement par chaux/cendres volantes est largement utilisé dans le traitement des déchets huileux, boues inorganiques et déchets de mines, stabilisation routière, boue usée [15]

II.3.4. Ciment / Silicates solubles :

Les silicates solubles ont une fonction d'immobilisation des agents métalliques et des adaptations intéressantes.

Le système est basé sur la réaction entre les ciment/silicates solubles pour produire un matériau solide et moins poreux. Le procédé le plus connu est celui de CHEMFIX.

Le procédé de CHEMFIX fait partie des procédés de traitement des boues expérimentés depuis de nombreuses années. Le matériau CHEMFIX, produit de durcissement obtenu par solidification, est pratiquement insoluble dans les conditions écologiques normales et peut être stocké sur un terrain géologiquement adapté ou être utilisé comme matériau de remblai ou matériau d'amélioration de décharge.

Le procédé de stabilisation/solidification fait appel à l'utilisation de certains additifs qui sont [4] :

- Carbone actif
- Carbonates
- Additifs de béton
- Le fer et aluminium
- Agents de neutralisation
- Agents d'oxydation
- Phosphates
- Agents réducteurs
- Fumée de silice, laitier
- Silicates solubles
- Sulfide, organique et inorganique
- Absorbant : cendres volantes, argile, minéral.

II.3.5. Argiles / Carbonates :

Il s'agit de l'utilisation du compactage comme traitement des déblais de forage produit par la société TOTAL à Champs sur Marne. Ce procédé consiste à améliorer les propriétés du matériau mis en œuvre dont le principe est d'augmenter la compacité (caractérisée par le poids spécifique sec) par réarrangement de ses éléments.

Le déblai de forage seul, sans ajout d'absorbant, n'est pas compactable et afin de pouvoir commencer les essais de compactage ce dernier était malaxé avec de l'argile locale (PN34) et carbonates Nautex (produit naturel d'origine planctonique). [18]

Soit, pour le mélange déblai+ argile : 13% d'argile

Pour le mélange déblai + Nautex : 27% de Nautex.

Les valeurs de la densité optimales et les teneurs en eau optimums pour les deux cas sont représentées dans le tableau suivant :

TYPE D'ABSORBANT	POIDS SPECIFIQUE SEC (G/CM ³)	TENEUR EN EAU OPTIMUM (%)	RESISTANCE A LA PENETRATION (BARS)
Argile (PN34)	1.84	15.00	25.87
Nautex	1.89	10.26	14.50

Tableau II.4. Les résultats obtenus par l'utilisation des deux absorbants

Le traitement à l'argile a donné une meilleure résistance à la pénétration qu'en procédant avec le carbonate type Nautex.

II.4. Procédé d'enrobage à l'aide de liants bitumineux :

Le principe de solidification consiste à disperser de manière homogène le déchet granulaire dans la matrice de bitume. La viscosité du bitume, très élevée à la température ambiante, permet d'obtenir un matériau relativement solide et imperméable où les polluants contenus dans les déchets sont confinés.

Cette technique dite "tiède" n'est pas basée sur une réaction chimique. Elle consiste simplement à enrober le déchet dans une capsule bitumineuse ou plastique étanche. Ce procédé est effectué à une température d'environ 200°C pour fluidiser le liant organique.

Ce procédé n'est pas coûteux et le produit obtenu à une bonne étanchéité, mais ce procédé est incompatible avec les déchets aqueux avec un temps de refroidissement du déchet stabilisé assez long et il est mal adapté pour stabiliser des polluants chimiques (acides, déchets chlorés)

II.4.1. Liants bitumineux :

Les liants bitumineux se présentent sous la forme de corps visqueux, plus ou moins viscoélastiques, dont la couleur varie du brun ou noir. Ils contiennent essentiellement des éléments hydrocarbonés. Les liants bitumineux proviennent de gisements naturels ou de résidus de la distillation du pétrole [28,15].

II.4.1.1. Origines et compositions [13] :

Le pétrole brut est traité en raffinerie par distillation fractionnée pour en extraire des produits allant des fractions légères, les combustibles et carburants, aux éléments lourds, les fuels et les bitumes. Il existe plusieurs procédés de fabrication des bitumes, à partir des pétroles bruts.

Les bitumes les plus courants comptent les bitumes de distillation et les bitumes soufflés ou oxydés.

- **Les bitumes de distillation** : ils sont issus directement de la distillation atmosphérique du pétrole brut ou, selon les bruts utilisés et les caractéristiques souhaitées du bitume, d'une distillation sous vide qui suit la distillation atmosphérique.
- **Les bitumes soufflés ou oxydés** : ils sont obtenus par oxydation d'une charge composée de distillats et de produits lourds issue de la distillation sous vides. L'oxydation résulte d'un soufflage d'air à contre-courant de la charge bitumineuse.

Il existe également d'autres types de bitumes, les bitumes fluidifiés (par addition de solvants), les bitumes fluxés (mélange de bitumes avec des huiles de houille et des dérivés pétroliers), les bitumes purs (obtenus par raffinage et ne comportant aucun ajout).

II.4.2. Les enrobés bitumineux :

Le mélange de liant bitumineux à une charge minérale engendre des enrobés bitumineux correspondants à différents matériaux selon les proportions employées.

On peut définir trois classes d'enrobés en fonction de leurs granularités qui sont [7]:

- **Les enrobés denses** : La teneur en vide est faible et inférieure à 8% et la compacité comprise entre 92 % et 97%.
- **Les enrobés semis - denses** : La teneur en vide varie entre 8 % et 12 % et la compacité entre 88 % et 92%.
- **Les enrobés ouverts** : La teneur en vide est supérieure à 12 % et la compacité est inférieure à 88 %.

II.4.2.1. Fabrication des enrobés bitumineux [13] :

La fabrication des enrobés bitumineux passe par les étapes suivantes :

- Stockage des constituants pour préserver leurs propriétés,
- Dosage,
- Chauffage du bitume pour atteindre sa température d'application dans un malaxeur ou un pétrin calorifugé et éventuellement séchage des agrégats dans un sécheur,
- Mélange du bitume chaud et des granulats éventuellement préchauffés et séchés dans le malaxeur ou pétrin, ou coulée du bitume chaud sur les granulats mis en place, ou coulée des granulats sur le bitume chaud répandu, selon l'application (fabrication de chaussés, de matériaux d'étanchéité...).
- Transport et mise en place ; les enrobés sont surtout fabriqués sur place. Ces deux étapes se résument donc souvent à une coulée de l'enrobé du malaxeur au lieu d'utilisation.

Un enrobé bitumineux «frais » acquiert ses propriétés physiques définitives dès qu'il a refroidi de sa température de fabrication (entre 130 et 230°C) à sa température d'utilisation.

II.4.2.2. Les qualités exigées des enrobés bitumineux [7] :

- **La stabilité :** C'est la résistance à la déformation permanente de la couche sous l'effet des charges statiques et dynamiques. Elle dépend de la nature du liant, le dosage en liant et en fillers, la nature et la formes des granulats.
- **La flexibilité :** C'est l'aptitude de l'enrobé, à admettre sans fissuration les déformations d'ensemble qui peuvent être imposées par la déflexion des couches. La ductilité du liant doit donc demeurer suffisante aux basses températures pour éviter la fissuration du tapis qui risque de donner une insuffisance de flexibilité.
- **L'absence de sensibilité a l'eau :** La stabilité à l'eau dépend de l'adhésivité du liant aux granulats et l'absence d'éléments argileux.
Une bonne adhésivité du liant aux granulats permet à l'enrobé de résister au dés enrobages des granulats sous l'action de l'eau. D'autre part la présence d'éléments argileux susceptibles de gonfler en présence d'eau risque de diminuer cette stabilité.
- **La durabilité :** c'est la résistance à la fissuration par fatigue liée directement au mastic (qualité, quantité et teneur en bitume) et au pourcentage de vide du mélange compacté.

II.5. Procède de stabilisation/solidification par vitrification :

Un verre est un solide non cristallin, présentant le phénomène de transition vitreuse : il est obtenu par refroidissement d'un liquide et, à la différence d'un cristal, une répartition ordonnée et régulière d'un motif élémentaire ne se retrouve pas à l'échelle atomique. L'état thermodynamique d'un verre est métastable et la transition liquide-solide est continue, avec une variation de la viscosité en fonction de la température. Elle est aussi réversible et de nombreux composés peuvent être inclus aux oxydes de base, sans modifier les qualités du matériau obtenu.

Aujourd'hui, l'industrie verrière est une industrie de haute technologie mais les principes sont restés les mêmes : amener la charge à sa température de fusion et laisser refroidir pour obtenir un matériau solide ayant les caractéristiques souhaitées. Les procédés continus se sont développés et ont été automatisés. Les caractéristiques de conduction du verre chaud permettent de chauffer la matière par un courant électrique appliqué dans la coulée elle-même. La vitrification de déchets consiste donc à obtenir une matrice vitreuse où les polluants sont parfaitement confinés dans un matériau non poreux.

Le verre est obtenu par fusion à haute température du déchet lui-même et d'éventuels ajouts complémentaires. La matrice vitreuse en fusion doit être refroidie par un moyen adéquat permettant de figer l'état vitreux [28].

II.6. Essai De Lixiviation [4] :

Les déchets industriels déposés dans un milieu naturel sont soumis aux agents atmosphériques, notamment aux infiltrations d'eau qui imprègnent tout d'abord les déchets, puis percolent à travers la masse en dissolvant ou en entraînant les éléments qui peuvent être dangereux ou toxiques, ce phénomène est appelé lixiviation.

Le test de lixiviation consiste à extraire des substances solubles dans le déchet ayant subi un traitement de type consolidation (compactage après malaxage avec un absorbant) ou solidification (mélange avec un liant hydraulique ou organique).

Les critères d'admission des déchet ultimes sont représentés dan le tableau suivant :

Caractéristique	Critère d'acceptation
PH	compris entre 4 et 13
Siccité	> 35%
Fraction soluble	< 10%
DCO	< 2 000 mg/kg
Phénols	< 100 mg/kg
Cr ⁶⁺	< 5 mg/kg
Cr	< 50 mg/kg
Pb	< 50 mg/kg
Zn	< 250 mg/kg
Cd	< 25 mg/kg
CN	< 5 mg/kg
Ni	< 50 mg/kg
As	< 10 mg/kg
Hg	< 5 mg/kg

Tableau II.5 : Critères d'admission des déchets ultimes [1]

Le tableau suivant donne la lixiviation de certains métaux lourd en utilisant différents traitements :

PROCEDE	FRACTION CUMULATIVE LIXIVIEE (%)			
	Arsenic	Cadmium	Chlorium	Cuivre
Ciment/cendre volante	3.97	0.02	0.19	0.11
Chaux/cendre volante	4.82	0.03	0.18	0.85
Ciment/argile	3.42	0.04	0.11	0.68
Ciment/silicates	15.16	0.14	0.19	0.42

Tableau II.6 : Evolution de la fraction lixiviée en fonction du traitement utilisée [15]

Les fractions cumulative lixiviées des métaux lourds sont bien fonction de la capacité du procédé utilisé.

On trouve que le taux de lixiviation de cuivre par exemple est de 0.11% en procédant par ciment/cendres volantes alors qu'il est de l'ordre de 0.85 en utilisant la chaux/cendres volantes.

On conclue que l'efficacité d'un tel traitement reste généralement fonction de l'aptitude du déchet à être solide et stable en terme de retenir les éléments toxiques à l'intérieure de la matrice liante.

III.1. Les matériaux utilisés :

III.1.1. Granulats :

Dans notre étude nous avons utilisé les trois fractions granulométriques suivantes :

- Sable concassé : 0/3 mm.
- Gravillon concassé : 3/8 mm.
- Gravier concassé : 8/15 mm.

III.1.1.1. Origine des granulats :

Les granulats proviennent d'une carrière affiliée à l'Entreprise Nationale des Granulats. Cette carrière (unité Elma Labiod) est sise au lieu-dit Adila à 25 Km à l'est de Tebessa dans la commune de Elma Labiod, daïra Elma Labiod, Wilaya de Tebessa.

Sa capacité nominale de production est de 400 t/h et ses produits commercialisés sont :

- Sable : 0/3.
- Gravillon : 3/8.
- Gravillon : 8/15.
- Gravillon : 15/25.
- Cailloux : 25/40.
- Précriblé ou produit scalpage : 0/40mm.
- Enrochement.

L'origine de la roche : calcaire naturel, sa nature: massive.

Le mode de préparation : concassage, broyage et criblage.

III.1.1.2 Caractéristiques chimiques :

Les caractéristiques chimiques des granulats sont rassemblées dans le tableau suivant :

Code	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P.F
Ech(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Min(%)	2,67	0,82	0,41	53,15	0,32	0,11	0,03	0,06	41,96
Max(%)	8,38	3,33	1,32	47,04	0,43	0,59	0,19	0,05	37,13

Tableau III.1 : Caractérisation chimiques des granulats.

III.1.2. Ciment :

Le ciment est une poudre minérale qui forme avec l'eau une pâte faisant prise et durcissant progressivement même à l'abri de l'air et notamment sous l'eau.

Cette poudre est constituée de sels minéraux anhydres instables en particulier des silicates et aluminates de chaux.

Il est produit à partir d'un mélange de calcaire et d'argile préalablement dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO), de la silice (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃).

Après dosage et homogénéisation, le mélange est cuit dans un four rotatif à une température avoisinant les 1450°.

A cette température, la chaux produite par décarbonatation du calcaire se combine avec la silice, l'alumine et le fer contenus dans l'argile pour donner le clinker.

Le ciment utilisé, est un ciment portland composé CPJ CEM II/A 32.5 résultant de la mouture d'au moins 80% de CLINKER PORTLAND, et il provient de la cimenterie de MEFTAH livré dans des sacs de 50 kg.

La valeur moyenne de la résistance à 28 jours et de l'ordre de 45 MPa, la majorité des résultats obtenus se situe entre 32.5 et 52.5 MPa.

Ces deux dernières valeurs sont les limites inférieure et supérieure de la classe de résistance du CPJ CEM II/A 32.5. En tout état de cause, les valeurs minimales garanties sont :

- 175 Bars (17.5 MPa) à 7 jours.
- 325 Bars (32.5 MPa) à 28 jours.

Le retrait à 28 jours du mortier normal est inférieur à 800 µm/m. L'expansion mesurée à chaud et à froid, sur éprouvette de pâte pure est inférieure à 10 mm.[28]

III.1.3. Eau de Gâchage :

D'une façon général, c'est de l'eau potable qu'on utilise pour le gâchage des bétons hydrauliques.

Si c'est une eau autre que potable, on doit prendre le soin de vérifier par des analyses qu'elle ne contient pas d'éléments en quantités telles qu'elle pourrait porter préjudice à la prise, au durcissement et à la durabilité du béton ou provoquer la corrosion des armatures.

Les limites requises par les spécifications sont :

- Matières en suspension ≤ 2 gr/litre.
- Sels dissous ≤ 15 gr/litre.

L'eau que nous avons utilisée est considérée comme une eau potable du robinet sans traitement supplémentaire.

III.1.4. Déchet industriel :

Le déchet utilisé a été prélevé au centre de NAFTAL EL-HARRACH. On le trouve sous forme de boue stockée après le nettoyage des bacs d'un dérivé pétrolier qui est le Gasoil (Mazout).

Le déchet est formé principalement par la rouille du réservoir en acier, il est considéré comme toxique et nuisible à l'environnement.

III.2.L'échantillonnage des matériaux :

III.2.1. But de l'opération:

Les essais des matériaux s'effectuent sur des quantités de matériaux très restreints. Pour que les résultats d'essais soient applicables il faut donc que l'échantillon utilisé soit représentatif du matériau à étudier.

Le but de l'échantillonnage est donc de conduire au prélèvement d'une fraction représentative de tout le matériau envoyé au laboratoire.

Nous admettons par ailleurs que ce matériau envoyé au laboratoire représente bien le matériau à étudier.

L'échantillonnage s'effectue de deux manières :

- Par quartage (fractionnement manuel).
- Ou au moyen d'échantillonneur (fractionnement mécanique).

III.2.2. Préparation de l'échantillon:

Au cours de l'échantillonnage du matériau sec, les éléments fins risquent d'être perdus. Ces éléments ayant une grande importance dans les propriétés des matériaux. On humidifiera légèrement le matériau de façon à éviter la formation de poussière.

III.2.3. Le quartage:

- Opérer sur plaque métallique de grande dimension.
- Mélanger le matériau à la pelle
- Constituer un tas qui sera ensuite étalé
- Séparer le tas en quatre (4) parties et prélever les parties opposées.
- Refaire l'opération si la quantité obtenue est insuffisante

III.2.4. Les échantillonneurs :

Ce sont des appareils qui séparent la quantité de matériau versée en deux parties égales.

Le choix de la largeur entre les dents, dépend de la dimension des plus gros éléments du matériau à analyser.

III.2.5. Poids de l'échantillon:

Le poids de l'échantillon à analyser dépend des dimensions et des pourcentages des plus gros éléments qu'il contient. Il est recommandé de se tenir dans les limites définies par la formule suivante : $200 D < P < 600 D$.

D'où P est le poids de l'échantillon exprimé en gramme et D la dimension maximum exprimée en mm des plus gros éléments. C'est à dire le tamis, à travers lequel passent les plus gros éléments.

III.3. Caractérisation des granulats :

Les caractéristiques physiques et mécaniques du béton hydraulique frais et durci, sont directement liées aux granulats (sable et gravier). Il est donc nécessaire de caractériser et optimiser au maximum les matériaux utilisés.

Le choix et la caractérisation moyennant une série d'essais au laboratoire, nous permettront de déterminer les caractéristiques mécaniques, physiques et géométriques. Tous les essais effectués pour la caractérisation ont été réalisés au laboratoire central de l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG) qui se trouve à EL KHROUB (CONSTANTINE).

III.3.1. Analyse granulométrique [26]

La granulométrie permet de classer et de définir d'après la grosseur des grains qui les composent, les différents matériaux employés dans la construction.

Pour effectuer ce classement on se sert de tamis et de passoirs. Par définition, un tamis comporte des mailles carrées constituées par des fils qui se croisent, et une passoire comporte des trous ronds, pratiqués dans une tôle.

A noter cependant que la tendance actuelle est d'utiliser des tamis à mailles carrées pour toutes les dimensions même les plus grandes. Ce qui évite toute ambiguïté.

Un matériau se compose donc de grains de diverses grosseurs, qu'il faut classer. Pour cela on utilise la courbe granulométrique.

III.3.1.1 La courbe granulométrique:

En abscisse on porte les dimensions des tamis, l'échelle est logarithmique.

En ordonnées, on porte une échelle graduée de 0 à 100 % où figurent les fractions cumulées, passant à une maille déterminée. On obtient ainsi une série de points que l'on relie par les segments de droites, l'ensemble ainsi obtenu s'appelle : courbe granulométrique et représente ce que la terminologie officielle appelle la granularité du granulat.

Résultats

La granulométrie établie pour les différentes fractions, est représentée dans le tableau suivant :

Granulats		Sable		Gravier 3/8		Gravier 8/15	
		Poids = 2 Kg		Poids = 2 Kg		Poids = 3 Kg	
		Refus Cumulés (g)	Tamisât (%)	Refus Cumulés (g)	Tamisât (%)	Refus Cumulés (g)	Tamisât (%)
Diamètre des tamis (mm)	20	/	/	/	/	0	100
	16	/	/	/	/	53	98,23
	12,5	/	/	/	/	1157	61,26
	10	/	/	0	100	2482	16,88
	8	/	/	221	80,14	2914	2,41
	6,3	0	100	1052	47,03	2985	0,04
	5	6	99,67	1431	27,95	2986	0
	2,5	115	93,67	1962	1,21	/	/
	1,25	709	60,33	1986	0	/	/
	0,63	1158	35,20	/	/	/	/
	0,315	1461	18,24	/	/	/	/
	0,16	1662	7	/	/	/	/
	0,08	1787	0	/	/	/	/

Tableau III.2 : Analyse granulométrique des différents granulats.

La courbe ainsi obtenue est représentée sur la figure suivante :

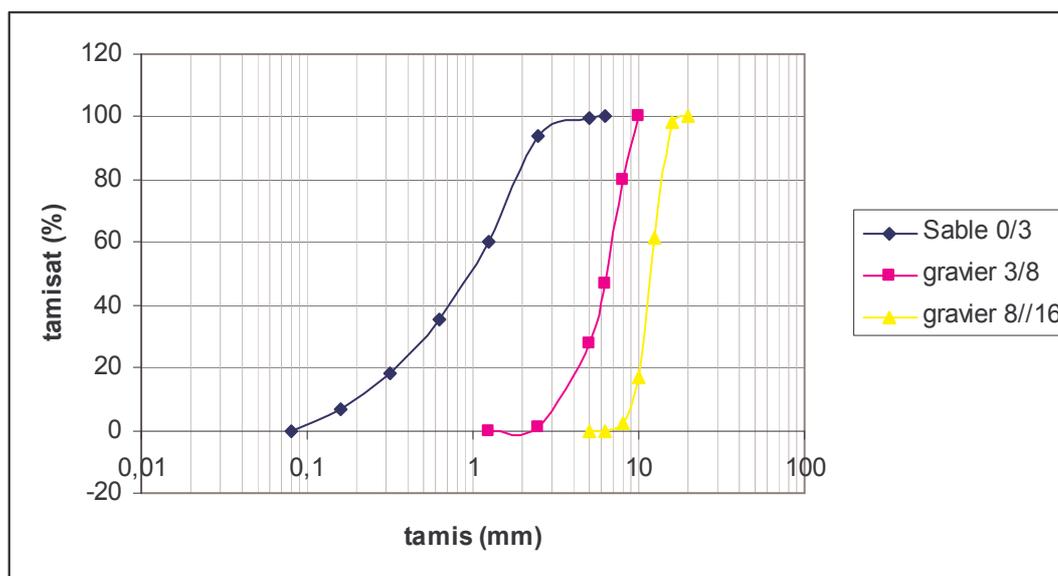


Figure III.1 : Courbe granulométrique des granulats

III.3.2. Masses volumiques spécifiques des granulats :

C'est la masse de l'unité de volume absolue des corps secs sans tenir compte des volumes des vides. Le principe est de mesurer le déplacement du niveau d'un liquide contenu dans un récipient lorsqu'on y introduit une masse donnée de l'agrégat

Soient :

M_0 : La masse du pycnomètre.

M_1 : La masse du pycnomètre + liquide (eau).

M_2 : La masse du pycnomètre + agrégat.

M_3 : La masse du pycnomètre à vide + agrégat + eau.

La masse volumique spécifique de l'agrégat est donnée par la formule suivante :

$$D = (M_2 - M_0 / M_1 + M_2) - (M_3 - M_0)$$

Les résultats :

Les résultats des poids spécifiques obtenus sur les différentes fractions sont représentés sur le tableau suivant :

Fraction (mm) :	8 /15	3/8	0/3
Poids spécifique (%) :	2,40	2,40	2,45

Tableau III.3 : Les résultats des poids spécifiques.

III.3.3. Porosité, coefficient d'absorption et teneur en eau :

La porosité est déterminée par le rapport du volume des vides renfermés dans les grains accessibles à l'eau, au volume réel de l'échantillon.

Le coefficient d'absorption d'eau est le rapport de l'augmentation de masse sèche des granulats remplissant un conteneur au volume de celui-ci.

La teneur en eau est déterminée par le rapport de l'écartement entre la masse de l'échantillon humide en l'état à sa masse sèche.

Résultats :

Les résultats des essais sont présentés dans le tableau suivant :

Fraction	(mm)	0/3	3/8	8/15
Absorption d'eau	(%)	4,10	4,30	4,41
Teneur en eau	(%)	2,05	1,50	1,23
Porosité	(%)	4,90	5,12	5,20

Tableau III.4 : Résultats des essais.

III.3.4. Module de finesse:

C'est un coefficient servant à caractériser la grosseur d'un sable pour béton.

Le module de finesse d'un sable est égal au centième de la somme des refus cumulés, exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante : 0,16 – 0,315 – 1,25 – 2,50 – 5 mm. Le tableau suivant représente l'appréciation de la nature du sable en fonction du module de finesse:

Module de finesse (M_f)	APPRECIATION
$2.8 < M_f < 3.2$	sable grossier
$2.2 < M_f < 2.8$	sable moyen
$1.8 < M_f < 2.2$	sable fin

Tableau III.5 : Appréciation du module de finesse

Dans notre cas: $M_f = 2,86$ c'est-à-dire un sable grossier.

III.3.5. La propreté superficielle.

L'essai consiste à séparer par lavage sur le tamis de 0,5 mm les particules inférieures à cette dimension.

La propreté superficielle est égale au pourcentage pondéral des éléments inférieurs à 0,5 mm contenus dans l'échantillon pour essai.

Résultats :

Les résultats de la propreté superficielle sont présentés dans le tableau suivant :

Fraction (mm):	3/8	8/15
Propreté superficielle (%) :	0,95	0,26

Tableau III.6 : Valeurs de la propreté superficielle.

III.3.6. Equivalent de sable [31] :

L'essai permet d'avoir une idée globale de la quantité et de la qualité des éléments fins contenus dans un sable en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments dits sableux et les éléments fins (argile, impuretés).

L'équivalent de sable est le rapport multiplié par 100, de la hauteur de la partie sédimentée à la hauteur totale du floculat et de la partie sédimentée.

Ces hauteurs sont déterminées dans une éprouvette où la prise d'essai a été traitée, dans des conditions définies, par une solution capable de faire flocculer les éléments fins.

Résultat :

Le résultat d'essai pour l'équivalent de sable de notre sable est :

$$ES=69\%$$

Ce résultat met en évidence une propreté moyenne de notre sable.

III.3.7. La résistance mécanique :**III.3.7.1. La résistance à la fragmentation (Essai Los-Angeles) :**

L'essai permet d'estimer l'évolution de la granularité due à la fragmentation des éléments sous le choc de boulets : il se pratique sur 3 classes granulaires de matériaux concassés : 4/6,3 - 6,3/10 - 10/14. On introduit un poids de 5000 g d'échantillon dans un tambour métallique tournant autour d'un axe horizontal à une vitesse de 33 tours/mn, avec une charge de boulets de fonte ou d'acier de 420 g chacun, variable d'un granulat à un autre.

- On pèse les éléments passant au tamis de. 1,6 mm.

- Le coefficient Los-Angeles (L A) est le rapport en % du poids de ce tamisât au poids initial.

Le matériau est évidemment d'autant meilleur que le coefficient L.A est plus faible un bon gravillon doit avoir un L.A. inférieur à 35 %.

Le tableau suivant représente l'appréciation de la qualité des granulats en fonction du coefficient de Los-Angeles :

LOS-ANGELES (%)	APPRECIATION
<15	Très bon à bon
15-20	Bon à moyen
20-30	Moyen à faible
>30	Médiocre

Tableau III.7 : Appréciation de la résistance à la fragmentation

Résultats :

Les résultats de l'essai Los-Angeles réalisés sur les différentes fractions d'agrégats utilisés dans notre étude sont représentés dans le tableau suivant :

Fraction (mm) :	8 /15	3/8
Los-Angeles (%) :	25,44	24,74

Tableau III.8 : résultats de Los-Angeles.

Donc le coefficient de Los-Angeles moyen est de 25,09 % c'est-à-dire que la résistance à la fragmentation des fractions d'agrégats étudiées est d'ordre moyen à faible.

III.3.7.2. La résistance à l'attrition et à l'usure (Micro-Deval) :

Le MICRO-DEVAL a pour objet de mesurer la résistance à l'usure par frottement des matériaux.

- La prise d'essai constituée par 500 g d'une des 3 classes granulaires 4/6 – 6/ 10 ou 10/14, est placée dans une cylindre métallique avec une charge constituée de billes d'acier de 10 mm de diamètre.
- La rotation du cylindre autour de son axe horizontal entraîne une usure par frottement granulats-billes et la formation d'une proportion de fines d'autant plus grande que le matériau est plus tendre.
- La durée de l'essai est de 2 heures.
- La vitesse de rotation du cylindre est de 100 tr/mn
- La charge de bille est de 5 kg pour la classe 10/14, 4 kg pour 6/10 et de 2 kg pour 4/6.
- Le coefficient Micro-Deval (MDE) est le pourcentage d'éléments passant au tamis de 2 mm par rapport au poids total de l'échantillon essayé.

Le tableau suivant donne l'appréciation de la qualité des granulats en fonction du coefficient MICRO – DEVAL

MICRO-DEVAL (%)	APPRECIATION
<13	Très bon à bon
13-20	Bon à moyen
20-25	Moyen à faible
>25	Médiocre

Tableau III.9 : Appréciation de la dureté MICRO-DEVAL

Résultats :

Les résultats des essais MICRO-DEVAL réalisés pour les différentes fractions d'agrégats utilisés dans notre étude sont représentés dans le tableau suivant :

Classe granulaire	Masse initiale M(g)	Masse après l'essai M'(g)	M=M – M' (g)	MDE (%)
3/8	500	380	120	24
8/15	500	370	130	26

Tableau III.10 : Les résultats des essais MICRO-DEVAL

Donc le MDE moyen est de 25%, c'est-à-dire que la résistance à l'attrition et à l'usure des fractions d'agrégats étudiées est d'ordre moyen à faible

III.3.8. Caractérisation du déchet:

Nous avons effectué quelques essais cités précédemment pour déterminer les caractéristiques de ce déchet, une analyse chimique par fluorescence X a été faite pour trouver les éléments qui le constitue.

III.3.8.1. Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique du déchet est donnée dans le tableau suivant :

Déchet		Sec		Lavé	
		Poids = 2 Kg		Poids = 2 Kg	
		Refus (g)	Tamisât (%)	Refus (g)	Tamisât (%)
Diamètre des tamis (mm)	6,3	0	100	0	100
	5	300	84,7	215,3	86,2
	2,5	480	75,5	444,6	71,5
	1,25	610	68,87	591,3	60,1
	0,63	760	61,22	744,1	52,3
	0,315	1211	38,21	1131	27,5
	0,16	1640	16,32	1507	3,4
	0,08	1960	0	1560	00.0

Tableau III.11 : Analyse granulométrique du déchet

III.3.8.2. La courbe granulométrique :

La courbe granulométrique ainsi obtenue est représentée sur la figure suivante :

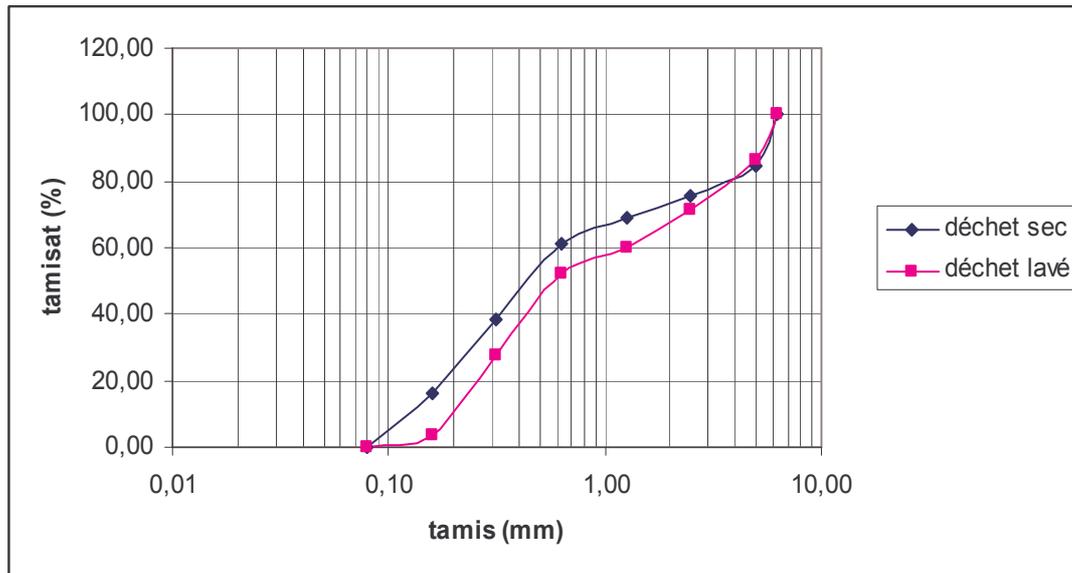


Figure III.2 : Courbe granulométrique du déchet.

III.3.8.3. Autres caractéristiques :

Les résultats des différents essais effectués sont représentés dans le tableau suivant :

Type d'essai	Valeur
Equivalent de sable (%) :	90
Module de finesse (%) :	2,99
Poids spécifique (t/m^3) :	2,35

Tableau III.12 : Caractérisation du déchet.

On remarque que les caractéristiques du déchet sont presque similaires que celle du sable, néanmoins, son module de finesse et son équivalent de sable sont plus grand que ceux du sable, donc il est considéré comme plus gros.

III.3.8.4. Analyse chimique du déchet

Une analyse minéralogique par diffraction des rayons X effectuée sur une fraction de ce matériau au Centre d'Etude et de service Technologiques de l'Industrie des Matériaux de Construction (CETIM) montre la présence des éléments présentés dans le tableau suivant :

Analyte	Etat du calibrage	Formule du composé	Concentration (%)
<Ti>	Trace	TiO ₂	0,010
<Rb>	Trace	Rb ₂ O	0,010
Na	Calibré	Na ₂ O	0,287
Mg	Calibré	MgO	0,316
Al	Calibré	Al ₂ O ₃	2,487
Si	Calibré	SiO ₂	20,347
P	Calibré	P ₂ O ₅	0,094
S	Calibré	SO ₃	0,316
K	Calibré	K ₂ O	0,366
Ca	Calibré	CaO	6,868
Mn	Calibré	MnO	0,308
Fe	Calibré	Fe ₂ O ₃	47,591
Zn	Calibré	ZnO	0,190
As	Calibré	As ₂ O ₃	0,044
Pb	Calibré	PbO	0,068
P.a.F			20,7

Tableau III.13 : Analyse par Fluorescence X

CHAPITRE III

CARACTERISATION DES

MATERIAUX

CHAPITRE IV

METHODES D'ANALYSES ET

D'ESSAIS

IV.1 Composition granulaire du béton :

Le but d'une composition d'un béton est d'aboutir à définir le mélange optimal des granulats, du ciment et de l'eau afin de réaliser un béton dont les qualités sont celles recherchées et exigées.

Il y a lieu de souligner que quelle que soit la méthode utilisée, celle-ci ne relève pas d'une science exacte et ne peut, à ce titre déterminer à elle seule les différents dosages de manière absolue ; c'est pourquoi une étude théorique ne conduit qu'à une approche du problème.

La solution définitive n'est obtenue qu'après avoir réaliser quelques essais (mesure et contrôle sur béton frais et béton durci)

Toute méthode de composition du béton doit être guidée par deux critères essentiels à savoir : la résistance et l'ouvrabilité ; or ces deux qualités sont étroitement liées l'une à l'autre mais varient en sens inverse.

Plusieurs méthodes de compositions des bétons ont été proposées par différents auteurs : méthode de Bolomey, Vallette, Faury, Lezy, Dreux-Gorisse,

Nous avons choisi pour notre étude la méthode de composition proposée par Faury.

IV.1.1 Méthode de Faury [8] :

C'est une méthode essentiellement expérimentale. La méthode de Faury est applicable à tous les granulats, quelle que soit leurs masses volumiques et aussi basée sur le principe de la granulation continue des granulats. Elle s'inspire de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen.

La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $\sqrt[5]{d}$; c'est pourquoi Faury adopta une échelle des abscisses graduée en $\sqrt[5]{d}$.

La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyens (inférieur à D/2), des gros grains (supérieur à D/2) et la pente de la droite de référence n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

IV.1.2. Tracé de la Courbe granulométrique de référence :

La courbe de référence conduisant à la compacité maximale est normalement une droite mais Faury a distingué la zone des grains fins et moyens ($<D/2$) de la zone des gros grains ($>D/2$).

La courbe granulométrique de référence est composée de deux segments droits. Cette courbe représenté par trois points, un point de départ A ($X \equiv 0.0065$ à traduire en $\sqrt[3]{d}$, $Y \equiv 0$), l'abscisse du point (B) qui représente la rencontre de ces deux droites est fixée à $D/2$ est son ordonnée Y est donnée par une formule tenant compte de la grosseur D du granulat et comportant certains paramètres dont la valeur est à choisir dans des tableaux en fonction de la qualités des granulats (roulés ou concassés), et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus au moins intense). Le point final C a pour coordonnées ($X \equiv D_{\max}$, $Y \equiv 100\%$)

La valeur de Y est donnée par la formule suivante :

$$Y_{D/2} = A + 17\sqrt[3]{D} + \frac{B}{\frac{R}{D} - 0.75}$$

A : coefficient qui se choisit dans le tableau des valeurs de A

D : dimension maximale du béton.

B : constante, traduisant l'importance du serrage du béton,

Le coefficient B varie de 1 à 1,5.

B = 1.5 pour le béton mis en place par piquage (béton mou).

B = 1 dans tous les autre cas (béton ferme).

R : rayon moyen du moule.

- **Calcul la valeur Y :**

Dans notre cas, le béton est soigneusement serré (B faible), effet de paroi négligeable (R très grand) alors résultat est voisin de zéro. Implique la valeur $B/(R/D-0.75) \approx 0$

- **Coefficient A :**

Les agrégats sont concassés donc la valeur du paramètre A est égale à 34 pour un béton mou (Annexel).

➤ **Coefficient D :**

$$D \equiv d_1 + (d_1 - d_2) \times X/Y$$

d_1 : diamètre de l'ouverture du plus grand tamis sur lequel on obtient un refus $d_1 = 16\text{mm}$.

d_2 : diamètre de l'ouverture du tamis immédiatement inférieur $d_2 = 12,5$

X : proportion des grains retenus sur le tamis correspondant à d_1 ($100 - 98,33 = 1,77$)

Y : proportion des grains retenus entre d_1 et d_2 $98,33 - 61,36 = 36,97$

$$D = 16 + (16 - 12,5) \times 1,77/36,97 = 16,12$$

➤ **Résultat :**

$$Y_{D/2} = 34 + 17\sqrt[5]{16,12} + 0 = 63,56$$

On peut maintenant tracer la courbe optimale. Le mélange optimum est celui dont la courbe granulométrique se rapproche le plus possible de la courbe de référence donnée par la méthode de Faury

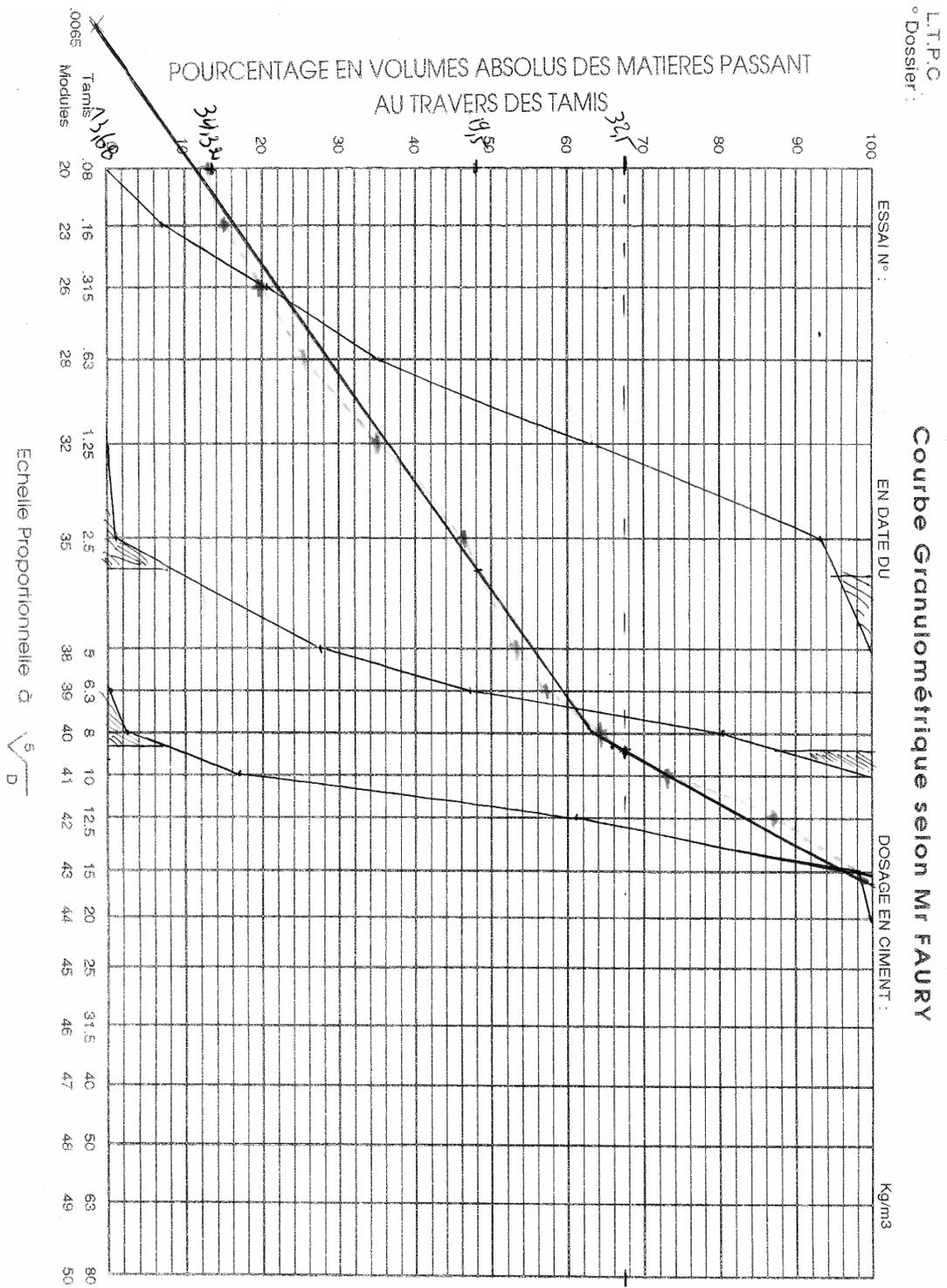


Figure IV.1 : Courbe de référence selon Faury.

IV.1.3 Détermination des pourcentages absolus des agrégats :

Les pourcentages des constituants du béton (sauf l'eau) sont déterminés en volumes absolus par la détermination graphique de Joisel. On trace une verticale à l'axe des abscisses et passant par le D_{\max} du sable et le D_{\min} du gravillon 3/8 de manière à obtenir des surfaces égales de part et d'autre des extrémités des courbes granulométriques. Elle coupe la courbe de référence au point M d'ordonnée X . On trace aussi une verticale à l'axe des abscisses et passant par le D_{\max} du gravillon 3/8 et le D_{\min} du gravier 8/15 de manière à obtenir des surfaces égales de part et d'autre des extrémités des courbes granulométriques. Elle coupe la courbe de référence au point M' d'ordonnée Y :

X : pourcentage en volume absolu de sable + ciment.

$(Y-X)$: pourcentage en volume absolu de gravillons.

Y : pourcentage en volume absolu de gravier.

Les résultats sont

Pourcentage de ciment +sable :	48.00%
Pourcentage de gravier (3/8) :	19.50%
Pourcentage de gravier (8/15) :	32.35%

IV.1.4 Calcul de l'indice des vides [14]:

Le volume des vides est ici représenté par la somme des volumes (e) de l'eau de prise et du volume (v) inclus dans le béton.

Ce volume que nous désignons par (I) est le complément à 1 de la compacité P .

Ainsi, $I = e + v$ ou $I = 1 - P$

Approximativement, on considère que la quantité d'eau de gâchage est égale au volume des intervalles compris entre les grains du béton.

La quantité d'eau de gâchage exprimé par la valeur de l'indice de vide (I) se déterminé par la formule suivante :

$$I = \frac{1000 K}{\sqrt[5]{D_{\max}}} + \frac{1000 K'}{\frac{R}{D} - 0.75} \quad (I)$$

K : fonction de la nature des granulats et des moyens de serrage du béton $k = 0,430$ (Annexe1)

K' : pour un béton plastique $K' = 0.003$.

Donc la valeur de (I) comme suite :

$$I = \frac{1000 \times 0,430}{\sqrt[5]{16,12}} = 246 l \Rightarrow E/C = 246 / 350 = 0,7$$

Lorsque le rapport E/C est très élevé, on choisit théoriquement le rapport E/C au voisinage de 0,5 ce qui donne une valeur de $E = 175l$

IV.1.5 Calcul du volume absolu des matières sèches :

Nous avons : $V_c + V_s + V_g + V_G = 1 - E$

V_c, V_s, V_g et V_G sont les volumes absolus respectifs du ciment, du sable, du gravier 3/8 et du gravier 8/15.

$$V_c + V_s = \frac{x}{100} \times (1 - E) = \frac{48.0}{100} \times (1 - 0.175) = 0.396 m^3$$

$$\text{avec } V_c = \frac{C}{\rho_c} = \frac{350}{3.1} = 0.113 m^3$$

$$V_s = \frac{x}{100} \times (1 - E) - V_c = \frac{48.0}{100} \times (1 - 0.175) - 0.113 = 0.283 m^3$$

$$V_g = \frac{y - x}{100} \times (1 - E) = \frac{19.5}{100} \times (1 - 0.175) = 0.161 m^3$$

$$V_G = \frac{100 - y}{100} \times (1 - E) = \frac{32.5}{100} \times (1 - 0.175) = 0.268 m^3$$

IV.1.6. Détermination les poids de Composition de béton :

Masse de ciment : (V.A) × (P.S)	$\Rightarrow P_c = \rho_c \times V_c = 3.1 \times 113 = 350 Kg$
Masse de sable : (V.A) × (P.S)	$\Rightarrow P_s = \rho_s \times V_s = 2.45 \times 283 = 693.4 Kg$
Masse de gravillon (V.A) × (PS)	$\Rightarrow P_g = \rho_g \times V_g = 2.40 \times 161 = 386.4 Kg$
Masse de gravier (V.A) × (P.S)	$\Rightarrow P_G = \rho_G \times V_G = 2.40 \times 268 = 643.5 Kg$
Masse de l'eau	$\Rightarrow P_{eau} = \rho_{eau} \times V_{eau} = 1 \times 175 = 175 Kg$

IV.1.7. Calcul de la densité théorique :

Dans la composition de référence la densité théorique est la somme des masses de chacun des constituants correspondants à leurs volumes pour un mètre cube de béton, y compris l'eau.

La Densité théorique du béton $\rho_{th} = 2250 Kg / m^3$

IV.2 Types des éprouvettes utilisées et les poids nécessaires pour chaque coulage :

Dans notre étude on a utilisé des éprouvettes prismatiques de dimensions (7×7×28) cm pour l'essai de traction par flexion et des éprouvettes cubiques de 15 cm de côté pour l'essai de compression simple.

$$V_{\text{tot}} = 0.15^3 + 0.07^2 \times 0.28 = 0.042m^3$$

$$1.2V_{\text{tot}} = 0.05m^3$$

$$P_c = 0.05 \times 350 = 17.5Kg$$

$$P_s = 0.05 \times 693.4 = 34.67Kg$$

$$P_g = 0.05 \times 386.1 = 19.3Kg$$

$$\rho_G = 0.05 \times 643.5 = 32.175Kg$$

$$P_{\text{eau}} = 0.05 \times 175 = 8.75Kg$$

IV.3 Mode opératoire et malaxage :

Le malaxage a une influence essentielle sur les caractéristiques du béton telle sorte le ciment soit bien réparti entre et autour de tous les grains inertes, Il faut en outre que le ciment ne soit regroupé en grumeaux. Il se fait comme suit :

- Placer le sable, le liant (éventuellement l'ajout) et les graviers dans le malaxeur.
- Malaxer à sec pendant 3 minutes.
- Ajouter l'eau d'une façon uniforme. Continuer le malaxage durant 5 minutes.
- Remuer le béton à l'aide d'une truelle pour éviter le phénomène de ségrégation.
- Directement après malaxage on passe aux essais sur béton frais, puis on remplit les moules à raison de deux couches, la vibration du béton a été effectué sur une table vibrante à raison de 30 secondes la couche.
- Enfin, araser et lisser la surface du béton à l'aide d'une truelle.
- Les éprouvettes, sont ensuite laissées dans le laboratoire pendant 24 heures. A après démoulage, elles sont conservées dans l'eau jusqu'au jour de l'essai.

IV.4 Incorporation du déchet :

Nous préparons au départ des éprouvettes témoins à 0% de déchet, puis on fabrique successivement des éprouvettes à 5, 10, 15, 20, 25,30 % de déchet.

IV.5 Courbe réelle de mélange (ciment +sable +gravier) :

La courbe théorique sera comparée avec une courbe de référence réelle du mélange

La courbe de mélange est déterminée de la façon suivante :

- Gravillon : On multiplie le pourcentage en volume absolu du gravillon par ses pourcentages de tamisats successifs obtenus lors de l'analyse granulométrique
- Sable : On multiplie le pourcentage en volume absolu du sable par ses pourcentages de tamisats successifs obtenus lors de l'analyse granulométrique
- Ciment : Le pourcentage en volume absolu du ciment est identique pour toutes les ouvertures de tamis.

La courbe du mélange correspondant à la somme du pourcentage de chaque constituant obtenue ou niveau de chaque ouverture de tamis, et les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tamis	%ciment	%sable	%Grvier3/8	%Gravier8/16	%mélange
20	13.68	34.32	19.5	32.5	100
16	13.68	34.32	19.5	31.92	98.23
12.5	13.68	34.32	19.5	19.91	87.41
10	13.68	34.32	15.63	5.49	72.99
8	13.68	34.32	9.17	0.78	64.41
6.3	13.68	34.32	5.45	0.01	57.18
5	13.68	34.2	0.042	0.00	53.33
2.5	13.68	32.11	0.00	0.00	46.21
1.25	13.68	20.71	0.00	0.00	34.39
0.36	13.68	12.08	0.00	0.00	25.76
0.315	13.68	6.26	0.00	0.00	19.94
0.16	13.68	2.40	0.00	0.00	15.08
0.08	13.68	0.00	0.00	0.00	13.68

Tableau IV.1 : pourcentages des granulats pour la courbe de mélange.

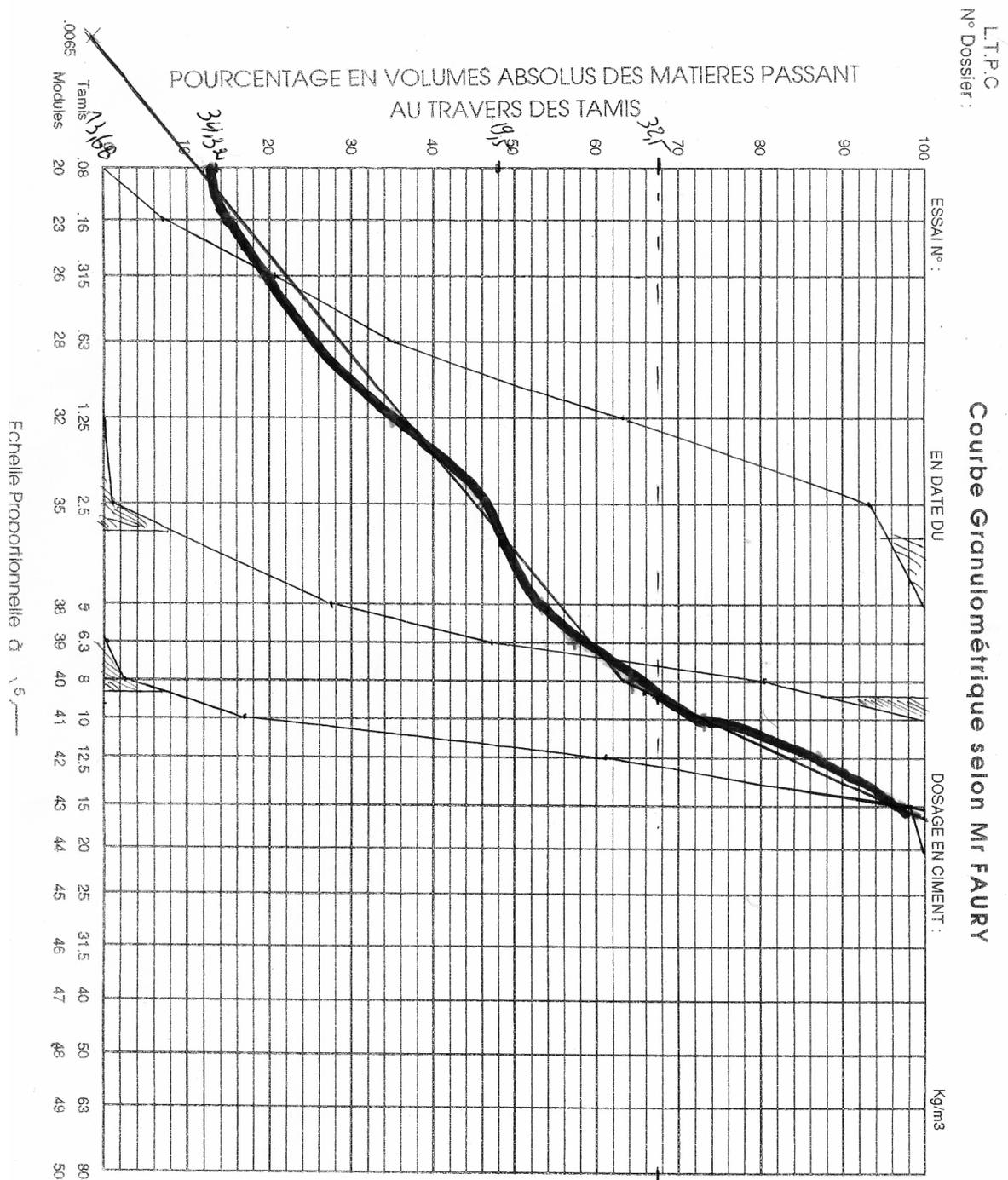


Figure IV.2 : Courbe de Mélange selon Faury.

IV.6. Classification et utilisation des adjuvants : [8]

Il y a longtemps qu'à été remarquée et étudiée l'action sur les bétons de ciment de certains produits employés en faible quantité. Tout ouvrage de quelque importance ne se concevant pas sans que le cahier des charges ne précise le ou les types d'adjuvant à prévoir dans le béton

IV.6.1 Définition :

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

Pour des raisons d'utilisation, la plupart des adjuvants se trouvant dans le commerce sous forme de liquide .Certains adjuvants existent en poudre, afin de réduire leur coût de transport .Dans ce cas il faut généralement les diluer avant l'emploi la dispersion homogène d'une petite quantité de poudre dans un malaxeur de centrale à béton est en effet moins certaine que celle d'un liquide.

Un adjuvant n'est pas palliatif. Il n'a ni pour mission ni pour effet de faire un bon béton à partir d'un mauvais dosage ou d'une mise en œuvre défectueuse .Ce n'est pas un produit capable de se substituer aux règles de la bonne technique .

IV.6.2 Classification

Un adjuvant a, en général, une action principale d'après laquelle il se trouve classé et défini, mais il peut présenter également certaines actions secondaires que l'on appelle généralement « effets secondaires ».

Les normes européennes retiennent la classification suivante :

- Plastifiants réducteurs d'eau,
- Superplastifiants hautement réducteurs d'eau,
- Rétenteurs d'eau,
- Entraîneurs d'air,
- Accélérateur de prise,
- Accélérateurs de durcissement,
- Retardateurs de pris,
- Hydrofuges.

IV.6.3 Plastifiant réducteurs d'eau :

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

On peut également jouer partiellement sur les deux paramètres pour augmenter la résistance mécanique tout en améliorant la maniabilité

Les plastifiants se dosent généralement entre 0.3 et 0.5 % du poids de ciment et ils se caractérisent souvent par un effet secondaire « retardateur de prise » marqué lorsqu'on les utilise à un dosage plus élevé. Dans notre étude on a pris le pourcentage de l'adjuvant égal à 0.3% du poids de ciment (30 g dans chaque 100kg de ciment) et on a choisi un type de plastifiant appelé PLASTIMENT BV 40

IV.6.4 Présentation du PLASTIMENT BV 40 :

Le PLASTIMENT BV 40 est un plastifiant réducteur d'eau énergétique qui :

- Augmente la compacité du béton, entraînant ainsi une amélioration de la résistance mécanique et de l'imperméabilité.
- Facilite la mise en place de béton.
- Permet éventuellement de réduire le dosage en ciment.
- Permet d'obtenir un retard de début de prise plus au moins important en augmentant le dosage normal d'utilisation de béton à performance élevée aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci.

IV.6.4.1 Domaine d'application :

Le PLASTIMENT BV 40 permet de réduire l'eau de gâchage d'environ 10% sans diminuer la maniabilité du témoin. Des essais sont indispensables pour déterminer la quantité d'eau de gâchage nécessaire à l'obtention de la maniabilité souhaitée. La capacité et l'imperméabilité sont améliorées. Les résistances mécaniques à long terme sont augmentées en moyenne de 15 à 40 %.

Le PLASTIMENT BV 40 est particulièrement indiqué pour :

- Les bétons armés à hautes performances.
- Les bétons précontraints.
- Les bétons préfabriqués étuvés.

IV.6.4.2 Caractères généraux :

Densité 1.185 ± 0.015

PH 4.5 ± 1

Teneur en ion Cl $< 0.1\%$

IV.7. Modalité des essais :

Il existe deux types d'essais sur béton :

-les essais sur béton frais.

-les essais sur béton durci

La plupart des ces essais sont normalisés ou font l'objet de recommandation ou de directivités. Les essais effectués ont été réalisés au Laboratoire Central des Travaux Publiques (LCTP).

IV.7.1. Essai sur béton frais :

Tous ces essais mesurent la consistance et la maniabilité de béton.

Les trois principaux sont :

- L'essais d'affaissement au cône d'Abrams
- L'essais d'étalement à la table à secousse
- L'essais d'écoulement au maniabilimètre

IV.7.2. L'essais d'affaissement au cône d'Abrams [21] :

La consistance est une grandeur qui sert à caractériser l'aptitude à la mise en oeuvre d'un béton. Sa mesure, s'effectue avec différents dispositifs dont la plus répandu est le cône d'Abrams qui consiste à :

- Remplir le cône en trois couches, tassées avec une tige en acier pointue de 16 mm de diamètre à raison de 25 coups par couche.
- Soulever le cône avec précaution et mesurer l'affaissement.

Plus l'affaissement est important et plus le béton est mou ou fluide.

Le tableau suivant montre le type du béton et sa mise en œuvre en fonction de l'affaissement :

Affaissement (Cm)	Béton	Mise en œuvre
0 à 2	Très ferme	Vibration puissant
3 à 5	Ferme	Bonne vibration
6 à 9	Plastique	Vibration courante
10 à 13	Mou	Piquage
10 à 14	Très mou à liquide	Léger piquage

Tableau IV.2 : Appréciation de la consistance du béton en fonction de l'affaissement.

IV.7.3 Mesure de la masse volumique du béton frais :

La mesure consiste à :

- Prendre le poids de récipient à vide, soit M_0 .
- Remplir un récipient d'un échantillon de volume V et de poids M_0 connu par un échantillon du béton frais, qui a subi vibration.
- Araser et lisser les surfaces et prendre le poids de ce récipient du béton, soit M_1 .

La masse volumique du béton frais est : $\rho = \frac{M_1 - M_0}{V}$ (kg / m^3)

IV.7.2 Essai sur béton durci :

IV.7.2.1 Détermination de la masse de l'éprouvette et de sa masse volumique :

Avant de procéder aux essais mécaniques, les éprouvettes sont pesées avec une erreur relative inférieure à 1‰. On mesure la masse des éprouvettes à 7, 14 et 28 jours et ceci pour connaître l'évolution de la masse volumique du béton durci.

$$\rho = \frac{M}{V_{réel}} \quad (kg / m^3)$$

IV.7.2.2 Essais mécaniques :

IV.7.2.2.1 Essai de compression : [22]

L'essai s'effectue sur machine à compression conformément à la norme NF P 18-406 L'essai consiste à soumettre à l'écrasement par compression axiale une éprouvette cylindrique ou cubique et à déterminer sa résistance à la compression

La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement des trois éprouvettes cubiques de 15 cm de côté pour chaque pourcentage et pour chaque âge.

La résistance à la compression correspond à la contrainte maximale est : $\sigma_c = \frac{P}{a^2}$ (MPa)

P : Charge de rupture,

a : Côté de l'éprouvette cubique,

σ_c : Résistance à la compression.

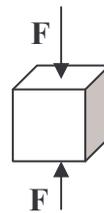


Figure IV.3 : Essai de compression

IV.7.7.2.2 Essai de 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 [23]. 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 deux éprouvettes pour chaque pourcentage et pour chaque âge.

La résistance à la traction par flexion se calcule par la formule : $\sigma_T = 1,8 \frac{P}{a^2}$ (MPa)

P : Charge de rupture,

a : Côté de l'éprouvette prismatique ($a \times a \times 4a$).

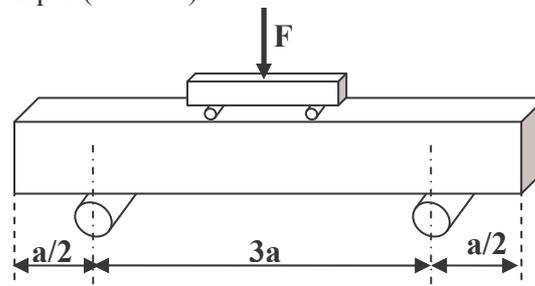


Figure IV.4 : Essai de traction par flexion

IV.7.3 Essai sur une bordure de trottoir [25] :

Cet essai est effectué sur une bordure de dimension (15×25×70) de telle sorte que l'écrasement se fera sous l'effet d'une charge concentré **F**. Il a été réalisé au laboratoire de Génie Civil à l'Ecole Nationale Polytechnique (ENP).

Le moment et la contrainte à la rupture sont calculés d'après les formules suivantes :

$$\sigma_r = \frac{MV}{I} \quad : \text{La contrainte à la rupture.}$$

$$M = \frac{Fl}{4} \quad : \text{Le moment à la rupture.}$$

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad : \text{Le moment d'inertie de la section de bordure}$$

$$V = h/2$$

$$\sigma_r = 1.5 \times \frac{Fl}{bh^2}$$

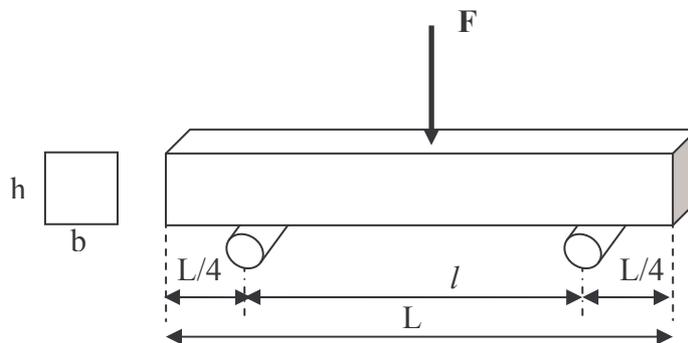


Figure IV.5 : Essai sur une bordure de trottoir.

CHAPITRE V

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

V.1. Essais sur béton frais :**V.1.1. Affaissement au cône d'Abrams :**

Pour chaque formulation du béton nous avons mesuré l'affaissement du béton au cône d'Abrams. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Pourcentage de déchet (%)	0		5	10	15	20	25	30
Quantité de déchet utilisé (Kg)	0,00		1,72	3,43	5,15	6,86	8,67	10,30
Quantité d'eau (l)	8,75	11,65	11,65	11,65	11,65	11,65	11,65	11,65
Affaissement mesuré (cm)	2,0	6	6,2	6,4	6,5	6,4	6,3	6

Tableau V.1. Mesure de l'affaissement pour chaque pourcentage de déchet

Après avoir corrigé la quantité d'eau lors de la première formulation, nous avons gardé cette même quantité d'eau dans les autres formulations, afin d'obtenir un rapport E/C raisonnable égal à 0,66.

Nous remarquons que l'affaissement mesuré augmente avec l'augmentation du pourcentage de déchet incorporé car le déchet étant beaucoup plus gros que le sable, absorbe moins d'eau.

A partir du pourcentage de 20% de déchet l'affaissement diminue du fait du changement des conditions de travail (température ambiante).

V.1.2. La masse volumique :

Le volume des éprouvettes cubiques est de $V = 15 \times 15 \times 15 = 3375 \text{ cm}^3$. Les masses volumiques du béton frais à différents pourcentages de déchet sont représentées dans le tableau suivant :

Pourcentage de déchet (%)	0	5	10	15	20	25	30
Masse de l'éprouvette (Kg)	7,95	7,89	7,87	7,86	7,83	7,81	7,79
Masse volumique (Kg/m^3)	2355	2338	2332	2329	2319	2315	2309

Tableau V.2. La masse volumique du béton frais

La figure ci-dessous représente la variation de la masse volumique en fonction des pourcentages de déchet introduit :

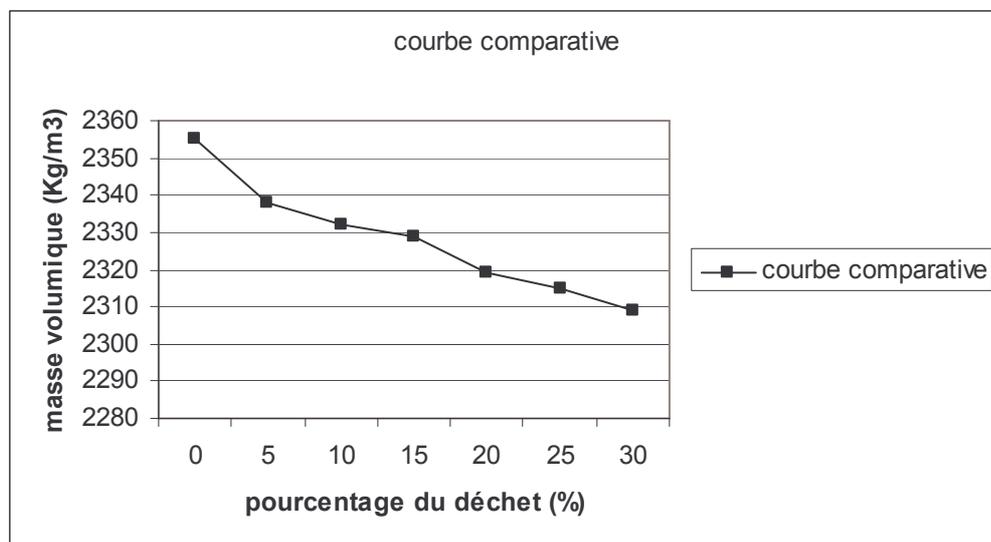


Figure V.1 : courbe comparative des masses volumiques.

L'analyse de la figure ci-dessus nous montre que la masse volumique du béton diminue avec l'augmentation du pourcentage de déchet introduit. Ceci s'explique par le fait que la masse volumique du déchet ($2,35 \text{ t/m}^3$) est plus faible que la masse volumique du sable ($2,45 \text{ t/m}^3$).

V.2. Essais sur béton durci :

V.2.1. La masse volumique du béton durci :

Les masses volumiques du béton durci à différents pourcentages de déchet calculées à 7 jours, 14 jours et 28 jours sont représentées dans le tableau suivant :

Pourcentage de déchet (%)		0	5	10	15	20	25	30
Masse volumique (Kg/m ³)	7 jours	2360	2333	2330	2326	2316	2304	2296
	14 jours	2370	2348	2341	2335	2333	2330	2328
	28 jours	2375	2365	2359	2356	2350	2348	2344

Tableau V.3 : La masse volumique du béton durci

Pour les mêmes raisons citées précédemment, la masse volumique du béton durci diminue avec l'augmentation du pourcentage de déchet introduit. Par ailleurs, pour chaque pourcentage de déchet ***le masse volumique du béton durci augmente avec l'âge du béton.

La variation de la masse volumique en fonction de l'âge est représentée dans la figure ci-dessous :

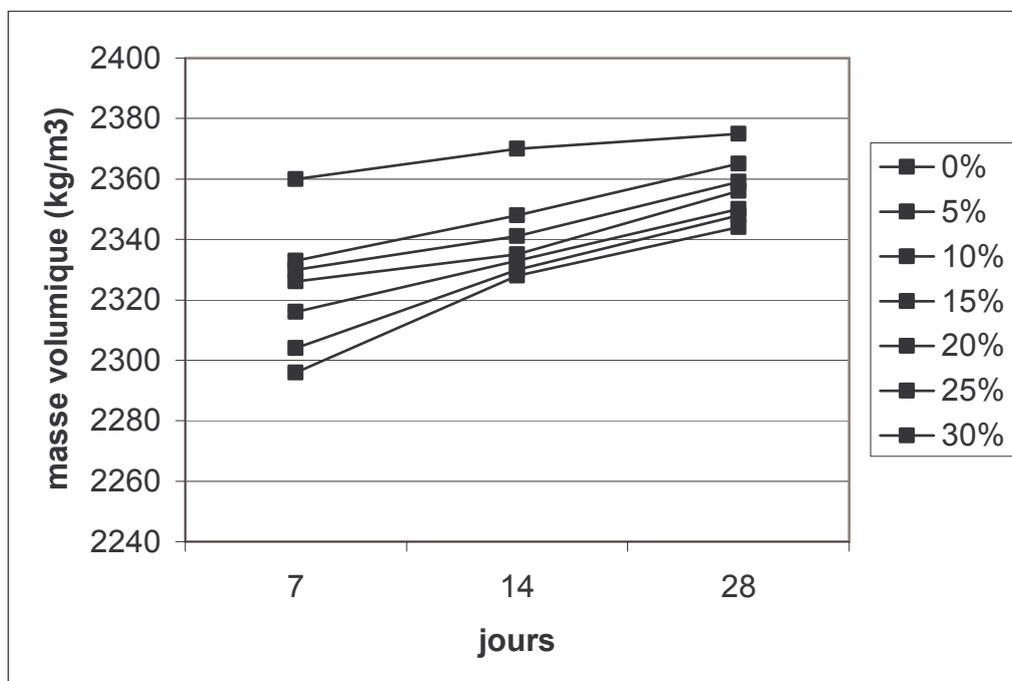


Figure V.2. Evolution de la masse volumique du béton en fonction du pourcentage de déchet

V.2.2. La résistance à la compression :

Cet essai est effectué sur des éprouvettes cubiques de 15 cm de côté. Il a été réalisé à 7 jours à 14 jours et à 28 jours pour tous les pourcentages de déchet introduit. L'objectif de l'essai étant de suivre l'évolution de la résistance à la compression et le comportement du béton contenant le déchet en fonction de l'âge et des pourcentages de déchet.

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

Pourcentage de déchet (%)		0	5	10	15	20	25	30
La charge à la rupture (Kg)	7 jours	55 666	50 333	46 333	40 666	37 333	31 000	27 000
	14 jours	61 333	53 000	48 333	46 000	44 666	38 000	28 000
	28 jours	82 333	70 666	64 666	61 000	55 333	42 333	32 000

Tableau V.4. La charge à la rupture du béton à 7, 14 et 28 jours (compression).

Pourcentage de déchet (%)		0	5	10	15	20	25	30
Résistance à la compression (MPa)	7 jours	24,7	22,4	20,6	18	16,6	13,8	12
	14 jours	27,6	23,5	21,5	20,4	19,9	16,9	12,4
	28 jours	36,6	31,4	28,7	27,1	25	18,8	14,2

Tableau V.5. La résistance à la compression du béton à 7, 14 et 28 jours

La résistance à la compression du béton à différents pourcentages de déchet est comparée à la résistance du béton témoin (0% de déchet), les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Pourcentage de déchet (%)		5	10	15	20	25	30
Rapport de la résistance/ témoin (%)	7 jours	90,67	83,40	72,87	67,20	58,87	48,58
	14 jours	85,14	77,89	73,91	72,10	61,20	44,97
	28 jours	85,8	78,41	74,04	68,30	51,36	38,79

Tableau V.6: pourcentage de la résistance à la compression par rapport au béton témoin.

La représentation graphique de l'évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de déchet introduit à 7, 14 et 28 jours est indiquée dans la figure suivante :

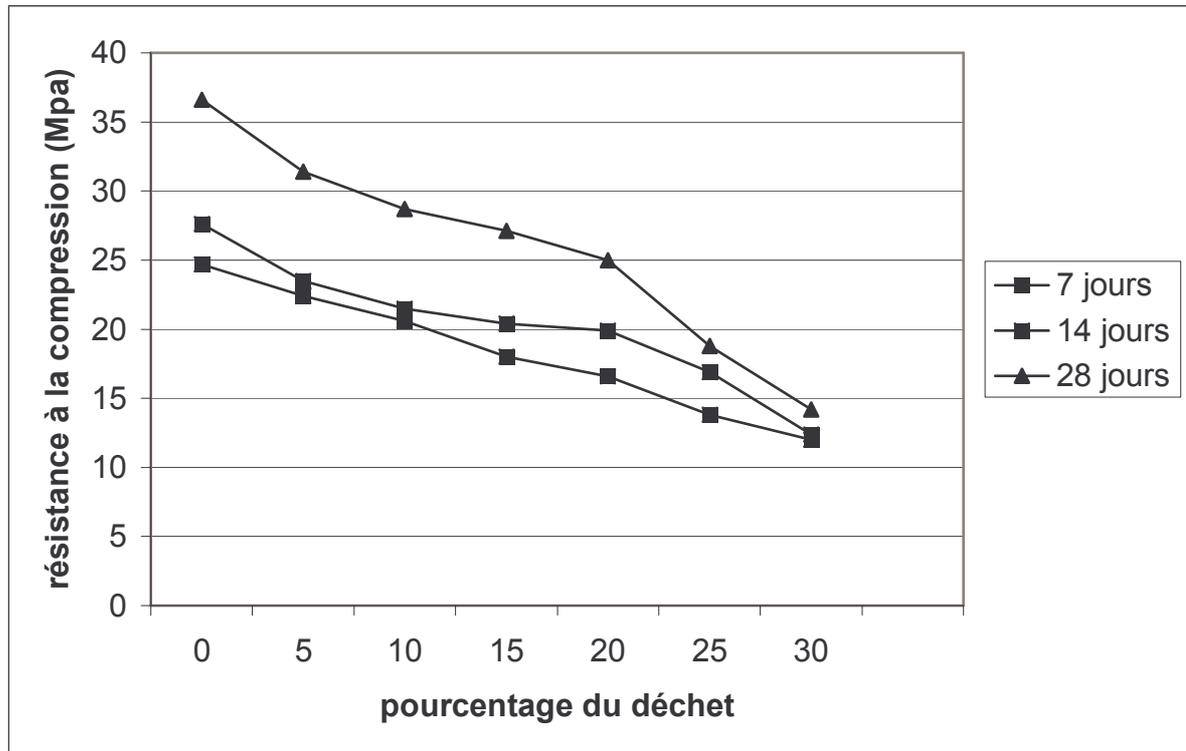


Figure V.3 : la résistance à la compression en fonction du pourcentage de déchet.

Nous remarquons que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de déchet incorporé. Pour un pourcentage de 25% de déchet incorporé la résistance à la compression du béton représente près de 50% de la résistance du béton témoin (0% de déchet introduit). Au vue des données obtenues ci-dessus nous pouvons affirmer que le pourcentage de 20% de déchet introduit est un pourcentage intéressant vu que la résistance à la compression est égale à 68% à 28 jours de celle du béton témoin.

V.2.3. La résistance à la traction par flexion :

La résistance à la traction par flexion est mesurée sur des éprouvettes prismatiques (7×7×28) cm. Cet essai a été réalisé à 7, 14 et 28 jours pour tous les pourcentages de déchet introduit. L'objectif de l'essai étant de suivre l'évolution de la résistance du béton à la traction par flexion en fonction de l'âge et des pourcentages de déchet.

Les résultats obtenus sont résumés dans les tableaux suivants :

Pourcentage de déchet (%)		0	5	10	15	20	25	30
La force à la rupture (KN)	7 jours	7,84	6,53	5,66	4,90	4,35	3,00	2,70
	14 jours	11,70	9,25	8,16	7,62	6,96	4,90	3,80
	28 jours	13,33	10,88	10,00	8,50	7,62	5,56	5,00

Tableau V.7 : La charge à la rupture du béton à 7, 14 et 28 jours (traction).

Pourcentage de déchet (%)		0	5	10	15	20	25	30
Résistance à la traction par flexion (MPa)	7 jours	2,88	2,40	2,08	1,80	1,60	1,12	1,00
	14 jours	4,30	3,40	3,00	2,80	2,56	1,80	1,40
	28 jours	4,90	4,00	3,70	3,12	2,80	2,08	1,84

Tableau V.8: La résistance à la traction par flexion du béton à 7, 14 et 28 jours

La résistance à la traction par flexion du béton à différents pourcentages est comparée par rapport à la résistance du béton témoin (0% de déchet), les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Pourcentage de déchet (%)		5	10	15	20	25	30
Rapport de la résistance/ témoin (%)	7 jours	83,33	72,22	62,50	55,55	38,88	34,72
	14 jours	79,07	69,76	65,11	59,53	41,86	32,56
	28 jours	81,63	75,51	63,67	57,14	42,44	37,55

Tableau V.9: pourcentage de la résistance à la traction par rapport au béton témoin.

La représentation graphique de la variation de la résistance à la traction par flexion en fonction du pourcentage de déchet introduit à 7, 14 et 28 jours est indiquée dans la figure suivante :

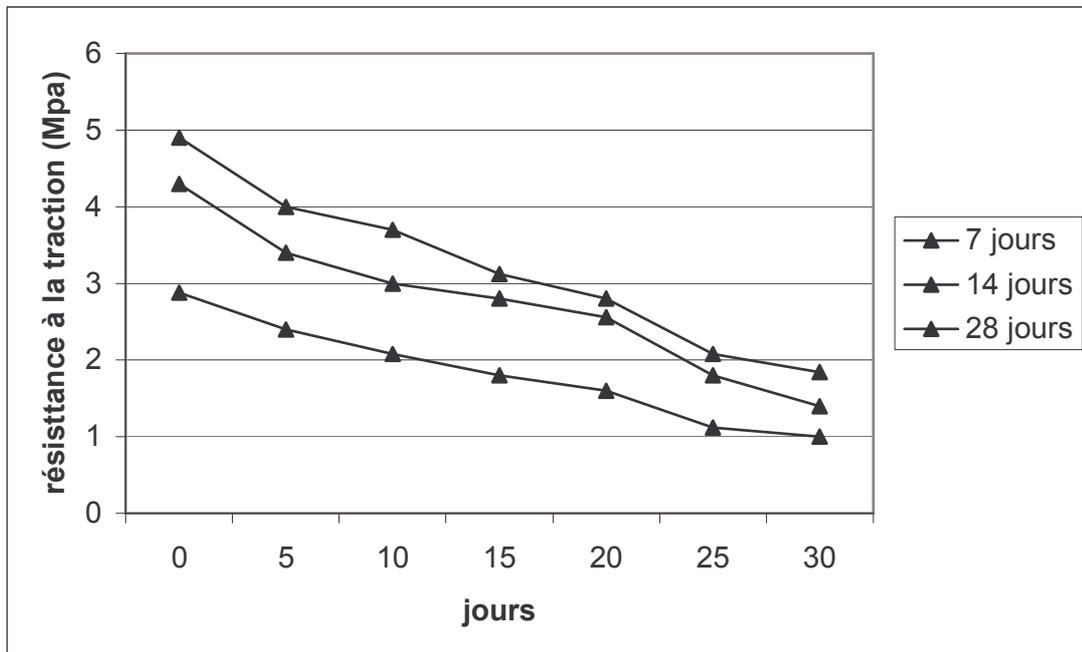


Figure V.4 : la résistance à la traction par flexion en fonction du pourcentage de déchet.

Nous remarquons que la résistance à la traction par flexion diminue avec l'augmentation du pourcentage de déchet incorporé. Pour un pourcentage de 25% de déchet incorporé la résistance à la traction par flexion du béton représente 42% de la résistance du béton témoin (0% de déchet introduit). Au vue de l'ensemble des données obtenues ci-dessus nous pouvons affirmer que le pourcentage de 20% de déchet introduit est un pourcentage intéressant vu que la résistance à la traction par flexion atteint un taux de 57% à 28 jours de celle du béton témoin.

Conclusion :

L'analyse des résultats des essais de résistance à la compression et à la traction par flexion nous pouvons conclure que le taux de 20% de déchet introduit constitue un pourcentage intéressant et appréciable. Ce taux de 20% peut être considéré comme un taux optimal. L'étude réalisée l'année dernière a donné un pourcentage optimal de 15% [6], de déchet. Avec ce taux la résistance à la compression à 28 jours a atteint 67,5% de celle du béton témoin, et la résistance à la traction à 28 jours était égale à 72% par rapport au témoin.

V.3. Etude de l'influence du rapport E/C :

Dans cette partie nous allons étudier l'influence du rapport E/C sur le comportement du béton comprenant 20% du déchet.

Nous avons choisi les trois valeurs de E/C suivantes : 0,60 – 0,72 – 0,80, et nous avons réalisés des essais sur du béton frais et sur du béton durci.

V.3.1. Béton frais :

L'affaissement au cône d'Abrams et la masse volumique du béton frais sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Pourcentage de déchet (%)	0	20		
E/C	0,66	0,60	0,72	0,80
Affaissement (cm)	6,0	4,9	6,8	8,8
Masse volumique (Kg/m ³)	2375	2320	2280	2269

Tableau V.10. : L'effet de E/C sur l'affaissement et la masse volumique.

La figure ci-dessous représente l'évolution de la masse volumique en fonction du rapport E/C :

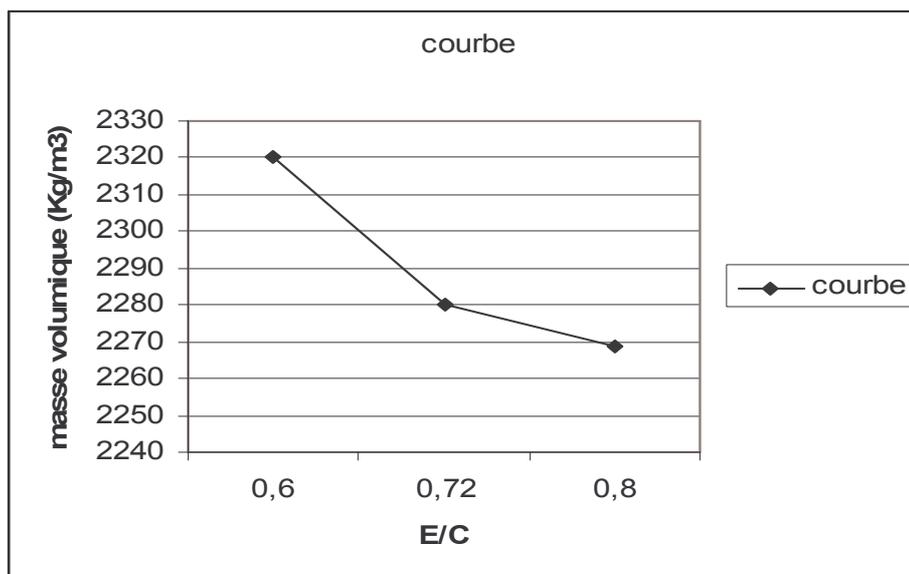


Tableau V.5 : La masse volumique en fonction du rapport E/C

Selon les résultats obtenus nous constatons qu'en augmentant le rapport E/C l'affaissement augmente et la masse volumique du béton frais diminue. Donc l'augmentation du rapport E/C, agit directement sur la plasticité du béton.

V.3.2. Béton durci :

Nous avons utilisé des éprouvettes cubiques de dimension (15×15×15) cm et prismatiques de dimension (7×7×28) cm destinées respectivement aux essais de compression et de traction par flexion pour trois âges : 7, 14 et 28 jours.

Nous avons déterminé à l'âge de 7, 14 et 28 jours les masses volumiques du béton durci dont les résultats sont rapportés dans le tableau suivant :

Pourcentage de déchet (%)		0		20	
Rapport E/C		0,66	0,60	0,72	0,80
Masse volumique (Kg/m ³)	7 jours	2360	2322	2286	2275
	14 jours	2370	2338	2316	2290
	28 jours	2375	2360	2330	2310

Tableau V.11. La masse volumique du béton durci dosé à 20% de déchet.

D'après le tableau, nous remarquons que la masse volumique diminue avec l'augmentation du rapport E/C. Néanmoins, elle augmente avec l'âge du béton.

V.3.3. L'effet du rapport E/C sur la résistance à la compression :

Pour connaître l'effet du rapport E/C sur la résistance à la compression du béton, nous avons mesuré les résistances à l'âge de 7, 14 et 28 jours sur des éprouvettes cubiques de 15 cm de côté conservées dans l'eau. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Pourcentage de déchet (%)		0		20	
Rapport E/C		0,66	0,60	0,72	0,80
Résistance à la compression (MPa)	7 jours	24,7	18	14,7	13
	14 jours	27	20	18,2	16,5
	28 jours	36,6	25	21,8	19

Tableau V.12. La résistance à la compression en fonction du rapport E/C

La figure suivante représente l'évolution de la résistance à la compression à 7, 14 et 28 jours et l'influence du rapport E/C sur cette résistance :

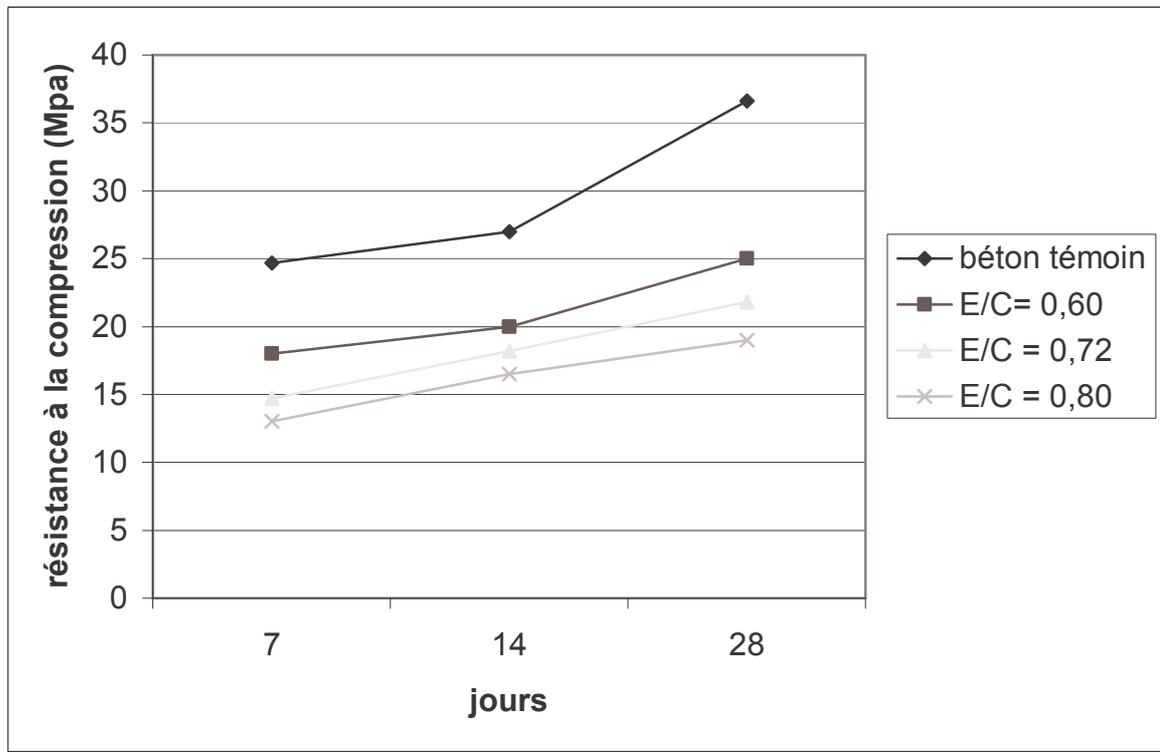


Figure V.6 : Evolution de la résistance à la compression du béton

D'après les résultats obtenus nous constatons que le rapport E/C agit directement sur la résistance à la compression. Quand le rapport E/C est grand la résistance à la compression est très faible. Pour une valeur de E/C égale à 0,60 la résistance à la compression est quasiment la même pour la valeur de E/C qu'on avait retenu au début de l'étude et qui était de 0,66.

La résistance à la compression diminuant pour une valeur de E/C égale à 0,72, nous pouvons conclure que la valeur optimale du rapport E/C se situe entre 0,60 et 0,66.

V.3.4. L'effet du rapport E/C sur la résistance à la traction par flexion :

Pour connaître l'effet du rapport E/C sur la résistance à la traction par flexion du béton, nous avons mesuré les résistances à l'âge de 7, 14 et 28 jours sur des éprouvettes prismatiques (7×7×28) cm conservées dans l'eau.

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Pourcentage de déchet (%)		0		20	
Rapport E/C		0,66	0,60	0,72	0,80
Résistance à la traction (MPa)	7 jours	2,88	2,00	1,49	1,41
	14 jours	4,30	3,10	2,50	2,22
	28 jours	4,90	3,46	2,70	2,40

Tableau V.13 : La résistance à la traction par flexion en fonction du rapport E/C

La figure suivante représente l'évolution de la résistance à la traction par flexion à 7, 14 et 28 jours et l'influence du rapport E/C sur cette résistance :

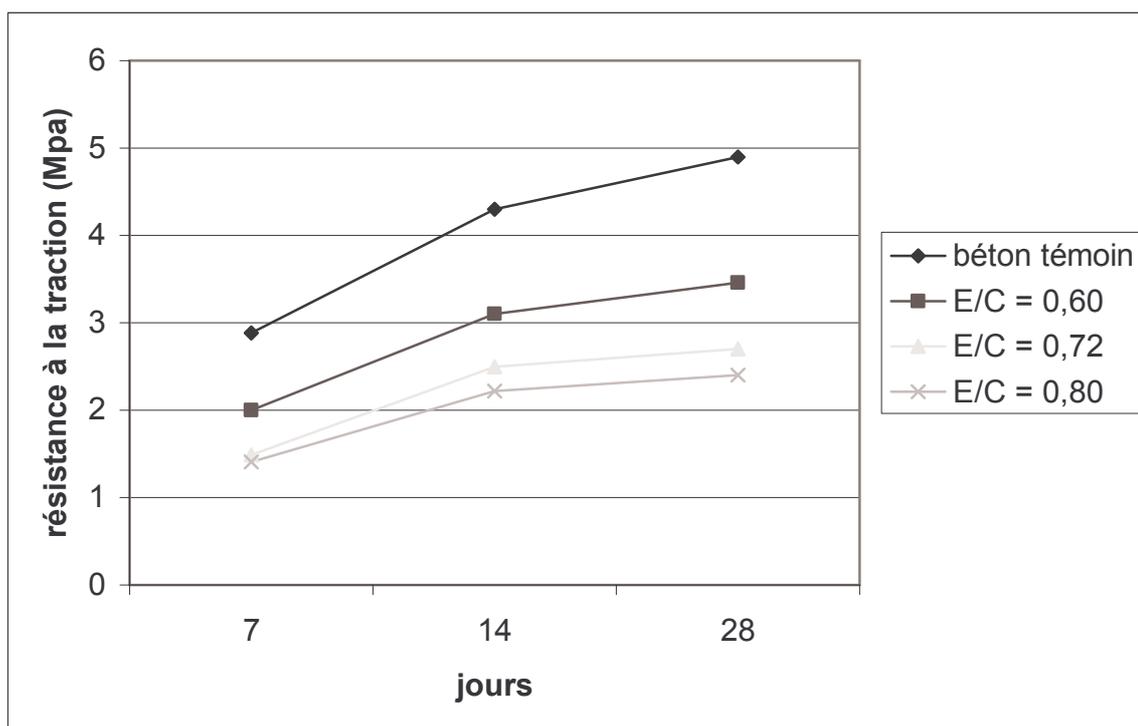


Figure V.7 : Evolution de la résistance à la traction par flexion du béton

D'après les résultats obtenus nous constatons que le rapport E/C agit directement sur la résistance à la traction par flexion. Quand le rapport E/C est grand la résistance à la traction est très faible. Pour une valeur de E/C égale à 0,60 la résistance à la traction est quasiment la même pour la valeur de E/C qu'on avait retenu au début de l'étude et qui était de 0,66.

La résistance à la traction par flexion diminuant pour une valeur de E/C égale à 0,72, nous pouvons conclure que la valeur optimale du rapport E/C se situe entre 0,60 et 0,66.

V.4. Etude de l'influence de l'adjuvant :

Dans cette partie, nous avons procédé à l'étude de l'effet de l'adjuvant sur le comportement du béton élaboré. Le but de cette étude est de trouver un pourcentage plus grand que 20% de déchet introduit et qui aura la même résistance à la traction et à la compression afin d'augmenter la quantité de déchet introduite et réduire ainsi la quantité de sable utilisée.

C'est pour cela que nous avons utilisé les pourcentages de 25% et 30% de déchet incorporé en rajoutant un adjuvant dans chaque coulage.

V.4.1. Essai sur béton frais :

L'affaissement au cône d'Abrams et la masse volumique du béton frais sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Pourcentage de déchet	Quantité du déchet Utilisé (Kg)	Quantité d'eau (l)	Affaissement mesuré (cm)
25%	8,67	11,65	8,2
30%	10,30	11,65	8,0

Tableau V.14 : Mesure de l'affaissement sous l'effet de l'adjuvant.

V.4.1.2. La masse volumique :

Le volume des éprouvettes cubiques est de $V = 15 \times 15 \times 15 = 3375 \text{ cm}^3$. Les masses volumiques du béton frais à 25% et 30% de déchet sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Pourcentage de déchet (%) :	25	30
Masse (Kg) :	7,83	7,81
Masse volumique (Kg/m ³) :	2320	2314

Tableau V.15. La masse volumique du béton frais sous l'effet de l'adjuvant.

Comparaison des résultats :

Le tableau suivant montre la différence entre l'affaissement et la masse volumique du béton sous l'effet de l'adjuvant (avec 25% et 30% de déchet) et l'affaissement et la masse volumique du béton sans adjuvant (avec 20% de déchet):

Pourcentage de déchet (%)	0	20	25		30	
Adjuvant BV 40	NON	NON	NON	OUI	NON	OUI
Affaissement Mesuré(Cm)	6	6,4	6,3	8,2	6	8.0
Masse volumique (Kg/m ³)	2355	2319	2315	2320	2309	2314

Tableau V.16 : Comparaison de La masse volumique.

La masse volumique du béton frais avec 25% et 30% de déchet incorporé, en plus de l'adjuvant, augmente par rapport au béton comportant les mêmes taux de déchet mais sans adjuvant, nous remarquons aussi que la masse volumique du béton avec 25 % est pratiquement égale à celle de 20% sans déchet.

V.4.2. Essais sur béton durci :

Des éprouvettes cubiques de dimension (15×15×15) cm et prismatiques de (7×7×28) cm ont été confectionnées et destinées respectivement aux essais de la compression et de la traction par flexion pour trois âges: 7, 14 et 28 jours.

V.4.2.1. La masse volumique du béton durci :

Les masses volumiques du béton durci des deux pourcentages de déchet sont représentées dans le tableau suivant :

Pourcentage de déchet (%)		25	30
Masse volumique (Kg/m ³)	7 jours	2310	2302
	14 jours	2334	2331
	28 jours	2352	2348

Tableau V.17. La masse volumique du béton durci sous l'effet de l'adjuvant.

D'après le tableau, on remarque que la masse volumique augmente sous l'effet de l'adjuvant et avec l'âge du béton. La figure suivante montre l'évolution de la masse volumique:

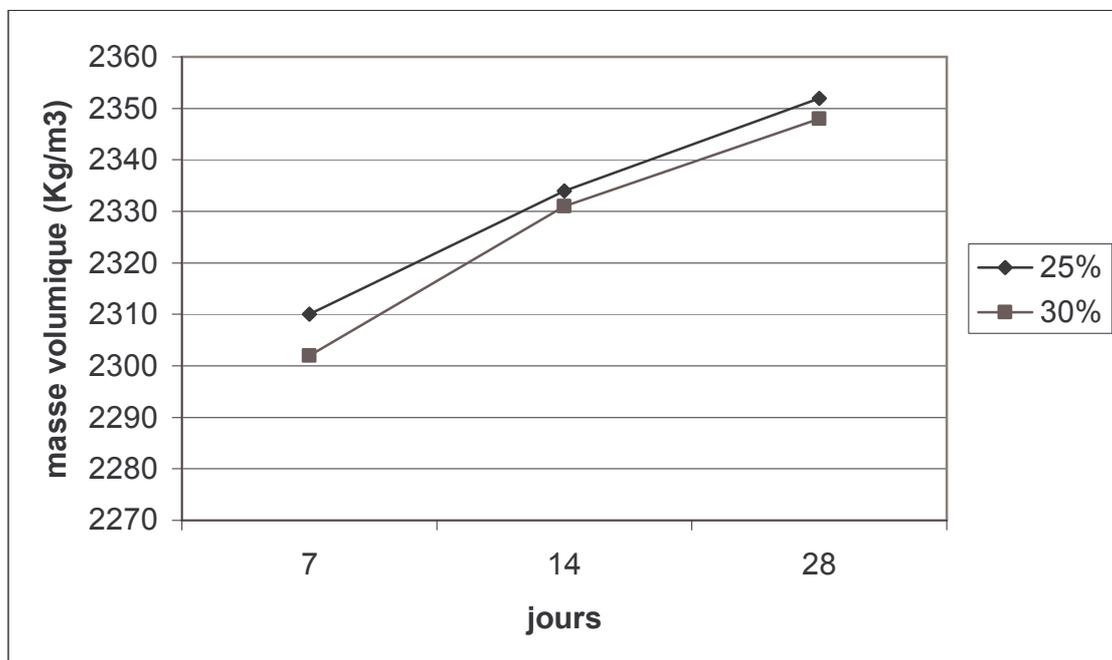


Figure V.8 : Evolution de la masse volumique du béton sous l'effet de l'adjuvant.

V.4.2.2. L'effet de l'adjuvant sur la résistance à la compression :

Pour connaître l'effet de l'adjuvant sur la résistance à la compression du béton, nous avons mesuré les résistances à l'âge de 7, 14 et 28 jours sur des éprouvettes cubiques de 15 cm de côté conservées dans l'eau. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Pourcentage de déchet (%)		25	30
Résistance à la compression (MPa)	7 jours	17	13,7
	14 jours	20	15,5
	28 jours	26	21,2

Tableau V.18: La résistance à la compression sous l'effet de l'adjuvant.

La figure suivante montre l'influence de l'adjuvant sur la résistance à la compression :

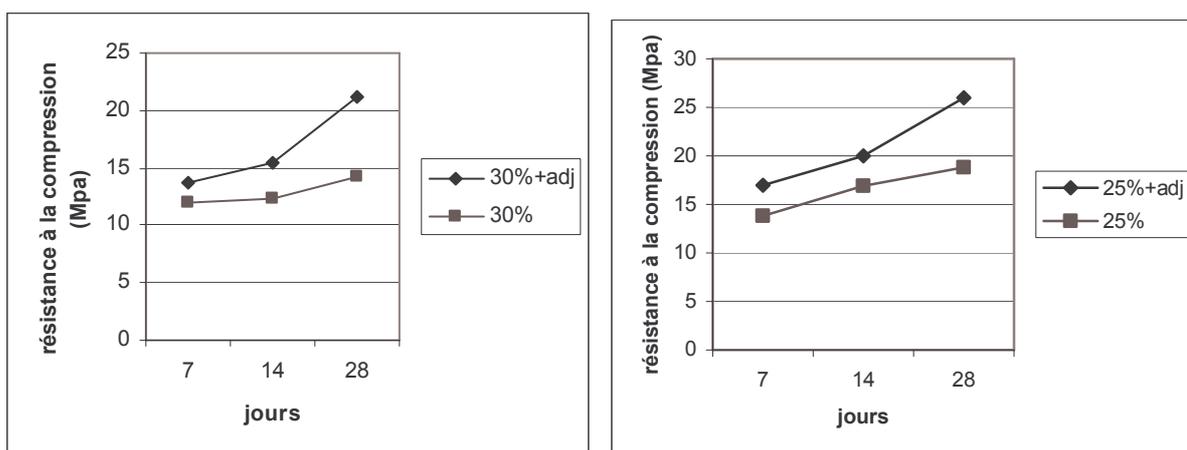


Figure V.9: l'influence de l'adjuvant sur la résistance à la compression.

D'après les résultats obtenus nous remarquons clairement que la résistance à la compression augmente sous l'effet de l'adjuvant. Nous concluons que l'adjuvant agit directement sur la résistance à la compression puisqu'elle s'améliore de 38% par rapport à celle du béton sans adjuvant avec le taux de 25% de déchet.

V.4.2.3. L'effet de l'adjuvant sur la résistance à la traction :

La résistance à la traction par flexion est mesurée sur des éprouvettes prismatiques (7×7×28) cm conservées dans l'eau jusqu'à la date de l'écrasement. Les résultats obtenus sur béton avec 25% et 30% de déchet sont représentés dans le tableau suivant :

Pourcentage de déchet (%)	25	30	
Résistance à la traction (MPa)	7 jours	1,62	1,12
	14 jours	2,60	1,70
	28 jours	2,85	2,15

Tableau V.19. : La résistance à la traction par flexion sous l'effet de l'adjuvant.

La figure suivant montre l'influence de l'adjuvant sur la résistance à la traction :

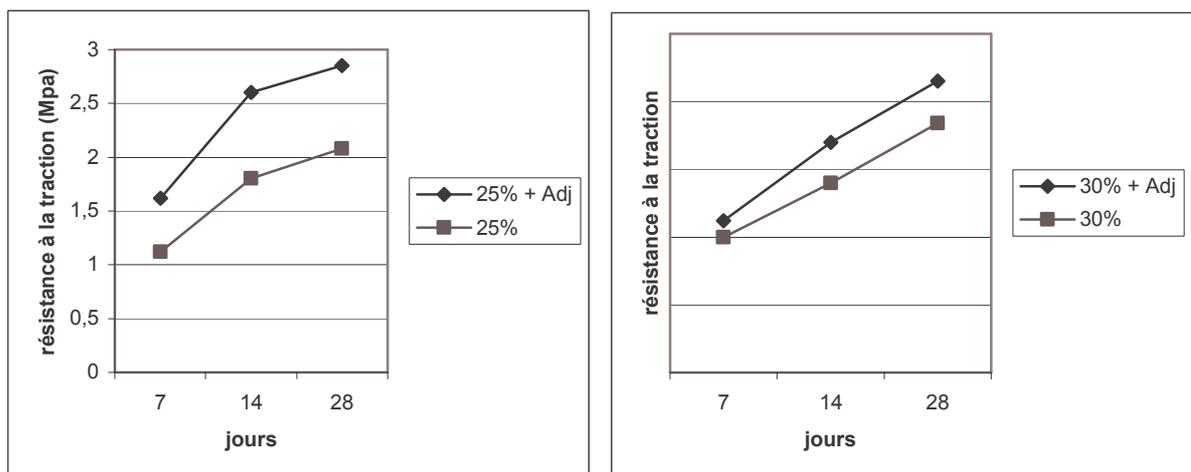


Figure V.10: l'influence de l'adjuvant sur la résistance à la traction.

D'après les résultats obtenus nous remarquons clairement que la résistance à la traction par flexion augmente comme la résistance à la compression sous l'effet de l'adjuvant. Nous concluons que l'adjuvant agit directement sur la résistance à la traction puisqu'elle s'améliore de 37% par rapport à la résistance du béton sans adjuvant avec le taux de 25% de déchet.

Comparaison des résultats :

Le tableau suivant montre la différence entre les résistances à la traction et à la compression du béton sous l'effet de l'adjuvant (avec 25% et 30% de déchet) et les résistances à la compression et à la traction du béton sans adjuvant avec les même pourcentages de déchet et aussi avec 20% de déchet :

Pourcentage de déchet (%)		0	20	25		30	
Adjuvant BV 40		NON	NON	NON	OUI	NON	OUI
Résistance à la traction (MPa)	7 jours	2,88	1,60	1,12	1,62	1,00	1,12
	14 jours	4,30	2,56	1,80	2,60	1,40	1,70
	28 jours	4,90	2,80	2,08	2,85	1,84	2,15
Résistance à la compression (MPa)	7 jours	24,7	16,6	13,8	17	12	13,7
	14 jours	27,6	19,9	16,9	20	12,4	15,5
	28 jours	36,6	25	18,8	26	14,2	21,2
Masse volumique (Kg/m ³)	7 jours	2360	2316	2304	2310	2296	2302
	14 jours	2370	2333	2330	2334	2328	2331
	28 jours	2375	2350	2348	2352	2344	2348

Tableau V.20: Comparaison des résistances à la traction, et à la compression.

Conclusion :

A la lecture de ce tableau nous remarquons que les résistances à la traction et à la compression ainsi que la masse volumique du béton avec 25% de déchet introduit et sous l'effet de l'adjuvant sont similaires que celles du béton sans adjuvant mais avec 20% de déchet.

Nous pouvons conclure qu'avec l'adjuvant nous pouvons augmenter le pourcentage optimal de déchet (de 20% à 25%) et économiser ainsi une plus grande quantité de sable et recycler une plus grande quantité de déchet. Ceci peut être très intéressant tant du point de vue environnemental que du point de vue économique.

V.5. Les résultats de l'essai de lixiviation :

Par manque de moyens financiers il ne nous a pas été possible d'effectuer les essais de lixiviation. Cependant nous pouvons dire, à la lumière des essais déjà réalisés sur des déchets similaires que les éléments toxiques qui pourraient se trouver dans la composition du déchet ne sont pas nuisibles car s'y trouvant en quantités négligeables. De plus, nous pouvons admettre que la stabilisation par un liant hydraulique pour ce déchet peut être considérée comme satisfaisante.

V.6. Essai sur les bordures de trottoir :

L'étude nous a montré que le recyclage du déchet peut être envisagé dans des éléments de construction secondaires et ne présentent pas de risques sécuritaires, à cet effet nous avons opté dans une première étape pour un élément des travaux publics représenté par la bordure de trottoir.

Nous avons ainsi réalisé deux formulations de béton à savoir une formulation sans déchet et une formulation avec 20% de déchet qui est le pourcentage optimal trouvé précédemment.

Les dimensions des bordures de trottoir confectionnées à l'aide de moules étaient les suivantes :

(Longueur = 70 cm, Largeur = 15 cm, Hauteur = 25 cm.)

L'essai de la résistance à la traction par flexion nous a donné les résultats suivants :

Pourcentage de déchet (%)	0	20
Charge P (KN)	110	77
Moment (KN.m)	13,75	9,63
Contrainte σ (MPa)	8,2	5,74

Tableau V.21. La résistance à la traction par flexion de la bordure de trottoir

Les résultats obtenus nous indiquent que la résistance à la traction par flexion du béton avec 20% de déchet introduit atteint une valeur de 70% de celle du béton témoin. Ce taux est très satisfaisant et appréciable car les bordures de trottoir sont classées selon les normes françaises en fonction de la résistance à la traction par flexion du béton.

CONCLUSION

GÉNÉRALE

CONCLUSION GENERALE

Notre étude se veut une très modeste contribution à la prise en charge des préoccupations du pays liées particulièrement à la non disponibilité du sable de construction, ainsi qu'à la protection de l'environnement.

Nos travaux ont pour but le recyclage des déchets industriels en l'occurrence les déchets pétroliers très polluants et nuisibles à l'environnement et dont la gestion s'avérera coûteuse à l'avenir.

Le pourcentage optimal de déchet pétrolier introduit est de 20% ; ce taux est très intéressant du point de vue économique car il nous permet d'économiser 128 Kg de sable pour 1 m³ de béton.

De plus l'utilisation de l'adjuvant nous a permis d'augmenter le taux de déchet introduit de 20% à 25% tout en gardant les mêmes caractéristiques mécaniques du béton c'est-à-dire la même résistance à la traction et à la compression.

La résistance à la traction et la résistance à la compression sont égales respectivement à 57% et 68% de celle du béton témoin.

Il est possible d'utiliser le béton avec déchet pour la fabrication des bordures de trottoir qui ne présentent pas de risques majeurs. L'étude nous a montré que la résistance de la bordure à la traction diminue avec l'incorporation de déchet mais reste acceptable selon les normes françaises.

Nous recommandons d'approfondir et d'élargir ces études afin d'améliorer la résistance mécanique du béton en vue de lui trouver d'autres utilisations. Ces études pourraient porter notamment sur :

- une meilleure utilisation des adjuvants.
- Des traitements chimiques sur le déchet utilisé afin d'améliorer ses caractéristiques.

Références Bibliographiques

- [1] [AGENCE FRANÇAISE DE NORMALISATION. Déchet – Détermination du caractère solide massif. Normalisation Française. N° X 31-212. Paris : AFNOR, 1994].
- [2] [AKLI A. : « Intégration des préoccupations environnementales dans le développement industriel ». La revue de l'environnement symbiose. N°8, Jan-Fév, (2000)].
- [3] [Ambassade de France en Algérie, Missions économiques, fiche de synthèse, 7 novembre 2005].
- [4] [BENOUMECHIARA N. « Elaboration et caractérisation d'un matériaux à partir d'un déchet industriel », Thèse de Magister, ENP 2002].
- [5] [BLIEFERT C. et PERRAUD R., chimie de l'environnement, De Boeck, Paris, 2003].
- [6] [BOUZOUALEGH. M, « Contribution à la valorisation d'un déche industriel dans le domaine du génie civil, projet de fin d'études, ENP 2005 »].
- [7] [CHERIFI TOUFIK "Contribution a l'étude de traitement et de la valorisation en génie civil d'un déchet pétrolier"].
- [8] [DREUX G. et FESTA J. : « Nouveau guide du Béton et de ses constituants », Eyrolles Huitième édition, Paris 1998].
- [9] [DURIEZ.M : Traité de matériaux de construction. T1. Edition Dunod]
- [10] [ENCYCLOPEDIE UNIVERSALIS p924 mars 85]
- [11] [FICHE TECHNIQUE DU CIMENT CPJ CEM II/A 32.5].
- [12] [GLOSSAIRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE, » ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Alger, Mars 2004 »].
- [13] [HADDI, A "Traitement de déchet par liant hydraulique et hydrocarboné". Projet de Fin d'Etudes. Département de Génie Civil. E.N.P. Juin 2002].
- [14] [HADID : «béton –constituant -composition et essais sur béton », LCTP, février 2005].
- [15] [JESSE.R al. « The history of stabilisation / solidification technology », critical reviews in environmental science and technology,(1998)].
- [16] [KOLLER E. « traitement des pollutions industrielles », Ed, Dunod, avril 2004].
- [17] [LEFEBVRE G. « notions de chimie des hydrocarbures », Ed, Technip. Paris, (1986)].
-

- [18] [MICHEL M. : « Valorisations des déchets et des sous-produits industriels », Ed, Massion, Paris (1981)].
- [19] [NAVARRO A. : « Gestion des déchets », Lamy environnement, Les déchets, LAMY, 1995].
- [20] [NORME AFNOR X 31-211. « Déchet : essai de lessivage d'un déchet solide initialement massif ou généré par un procédé de solidification », Août 1994].
- [21] [NORME FRANÇAISE : « Béton – essais d'affaissement », AFNOR, Paris 1981].
- [22] [NORME FRANÇAISE : « Béton – essais de compression », AFNOR, Paris 1981].
- [23] [NORME FRANÇAISE : « Béton – essais de flexion », AFNOR, Paris 1981].
- [24] [NORME FRANÇAISE : Granulats. Los Angeles, AFNOR, Paris 1990].
- [25] [NORME AFNOR ; NFP 98-302. « Pavés et bordures de trottoirs »].
- [26] [NORME FRANÇAISE : Granulats. Equivalent de sable, AFNOR, Paris, septembre 1998.]
- [27] [POULENC R. « Manuel à l'usage des industriels », Ed, AFNOR, ouvrage collectif rédigé sous la direction de Serge Lamert, juin (1995)].
- [28] [TECHNIQUE DE L'INGENIEUR, traité généralités et construction C9, A8660, C4260].
-

ANNEXE

	S roulé/G roulé	S roulé/G concassé	S concassé/ G concassé
Très fluide	32	34	38
Fluide	30-32	32-34	36-38
Mou	28-30	30-32	34-36
Ferme	26-28	28-30	32-34
Très ferme	24-26	26-28	30-32
Puissant	22-24	24-26	28-30

TABLEAU DES VALEURS DE A

	S roulé/G roulé	S roulé G concassé	S concassé/ G concassé
Très fluide	0.37	0.405	0.450
Molle	0.350-0.370	0.375-0.405	0.430-0.460
Ferme	0.330-0.350	0.335-0.385	0.400-0.430
Très ferme	0.250-0.330	0.330-0.350	0.350-0.370
Extra sèche	0.250	0.330	0.350

TABLEAU DES VALEURS DE K

ملخص:

باستعمالنا للإسمنت (CPJ CEM II/A 32.5) درسنا عدة تركيبات حيث تم تغيير العوامل الداخلية و هذا بهدف البحث عن التجميد الأمثل (خصائص ميكانيكية النتائج المحصل عليها سمحت لنا بتثمين المركبات المحصل عليها كعناصر ثانوية في البناء كحواف الطرق).

الكلمات المفتاحية: نفاية صناعية, نفاية صلبة, التجمد, الخرسانة, التثمين

Résumé :

La pollution est souvent associée à la détérioration de notre environnement et engendre des multiples risques pour la santé humaine. L'industrie constitue la source de pollution la plus connue. Dans ce contexte, ce travail est une modeste contribution à la prise en charge des préoccupations du pays liées à la protection de l'environnement en étudiant la possibilité de recycler un déchet pétrolier prélevé au centre de NAFTAL EL-HARRACH.

Avec le liant hydraulique (CPJ CEM II/A 32.5), plusieurs formulations de béton ont été étudiées, en faisant varier les paramètres entrant dans la composition du matériau élaboré, dans la recherche d'une meilleure solidification (résistance mécanique).

Les résultats obtenus ont permis d'envisager une valorisation du matériau élaboré en tant qu'élément de bordures de trottoir.

Mots clés :

Pollution, déchets pétrolier, solidification, béton, valorisation.

Abstract:

Pollution is often associated to the worsening of our environment and it engenders many risks to the health of humanity. Up to now, industry is the main source of pollution and in the present circumstances; our work is a modest contribution to the country's concerns linked to the protection of the environment. Their for, our study aims at the possibility of recycling an oil scrap taken from NAFTAL center EL HARRACH

With the hydraulic binder (CPJ CEM II/A 32.5), several formulations of concrete were studied, while varying the parameters that are part of the composition of work material, in the search for better solidification (mechanical resistance).

The results made it possible to consider a valorisation out material worked out as an element of pavement sides.

Key words:

Pollution, oil scrape, solidification, concrete, valorisation.