

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique



P0012/

/05 B

Département de Génie Civil
Laboratoire de Construction et Environnement

PROJET DE FIN D'ETUDE

Présenté pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état
en Génie Civil

Thème

**Contribution à la valorisation d'un
déchet industriel dans le domaine
du génie civil**

Encadré par :

M^r.R.BOUTEMEUR

Présenté par :

BOUZOUALEGH Malik

Dédicace



A mes chère parents

A mes frères et mes soeurs

A mes grands-mères BHIDJA et KHMISSA

A toute la famille particulièrement amti FATMA

A mes cousins et mes cousines Salah, Waheb, Krimo,

Farid, Khaled, Rabah, Yacine, Mustapha, fatima,

malika, Sihem

La famille Khannoufi, khalil Faudil, Tayeb,.....

A mes amis Toufik, Salim, sidahmed, Athmane,

Fayçal, Nacer, Tarik, Mouh la radieuse, Abbrerahmane,

Mounir, Ahmed, Lyassa, Ami Salah

Et la famille Bouzidi

Je dédie ce travail.

Malik

ملخص:

يتمحور بحثنا هذا حول إمكانية تثمين النفاية الصناعية الجامدة الناجمة عن صهاريج التخزين لشركة نפטال الحراش و هذا من أجل الحفاظ على البيئة و محاربة الأضرار الناجمة عنها. باستعمالنا للإسمنت (CPJ 45) درسنا عدة تركيبات حيث تم تغيير العوامل الداخلية و هذا بهدف البحث عن التجميد الأمثل (خصائص ميكانيكية) حيث أجريت تجارب كيميائية حول إنحلال المواد الضارة المتواجدة في هذه النفاية الداخلة في تركيب الخرسانة و هذا للتأكد من ثباتها. النتائج المشجعة المحصل عليها سمحت لنا بتثمين المركبات المحصل عليها كعناصر ثانوية في البناء كحواف الطرق.

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

Résumé :

Notre projet consiste à étudier la possibilité de valoriser un déchet industriel solide qui provient des cuves de stockage du carburant de l'unité NAFTAL d'El Harrach, et ceci dans un objectif de protéger l'environnement et lutter contre la pollution qui résulte de ce déchet.

Avec le liant hydraulique (CPJ 45) plusieurs formulations ont été étudiées, en faisant varier les paramètres entrant dans la composition du matériau élaboré, dans la recherche d'une meilleure solidification (résistance mécanique). Des tests de lixiviation sont réalisés sur des éprouvettes des bétons élaborés, pour vérifier la stabilité des éléments polluants, contenus dans le déchet.

Les résultats encourageants, obtenus ont permis d'envisager une valorisation du matériaux élaboré en tant qu'élément de voirie (bordure de trottoir)

Mots clés :

Déchets industriels, déchets solides, solidification, stabilisation, béton, valorisation.

Abstract :

Our project consist in studying the possibility of developing a solid industrial waste which comes from an oil cuves of the unity of NAFTAL El Harrach, and this in objective to protect the environment and to fight against the harmful effects which results from this wastes.

With the hydraulic binder (CPJ 45), several formulations were studied, while varying the parameters that are part of the composition of work material, in the search for better solidification (mechanical resistance). Test leaching is realized on the test-tubes of the worked out concretes to check the stability of the polluting elements, contained in waste.

The encouraging results made it possible to consider a valorisation out material worked out as an element of roadway system (pavement borders).

Key words :

Industrial waste, solid waste, solidification/stabilization, concrete, valorisation.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 Différents types de déchets	6
Tableau 1.2 Filières de traitement des déchets	11
Tableau 2.1 Liste des déchets industriels spéciaux ultimes à stabiliser/solidifier	14
Tableau 2.2 Critères d'admission des déchets ultimes	15
Tableau 2.3 Proportion des principaux produits d'hydratation du ciment portland	18
Tableau 2.4 Les résultats obtenus par l'utilisation des deux absorbants	20
Tableau 2.5 Evolution de la fraction lixiviée en fonction du traitement utilisée	23
Tableau 3.1. Fluorescence des rayons X	25
Tableau 3.2. Analyse granulométrique du déchet	25
Tableau 3.3. Analyse granulométrique des différents granulats	29
Tableau 3.4. Analyse chimique des différents granulats	30
Tableau 3.5. Pourcentage des différentes fraction suivant la méthode de Faury	36
Tableau 4.1. Mesure de l'affaissement et du rapport E/C pour chaque pourcentage de déchet	41
Tableau 4.2. La masse volumique du béton frais	42
Tableau 4.3. La masse volumique du béton durci	42
Tableau 4.4. La résistance à la compression du béton à 7, 14 et 28 jours	43
Tableau 4.5. La résistance à la traction par flexion du béton à 7, 14 et 28 jours	44
Tableau 4.6. L'ouvrabilité et la masse volumique du béton frais dosé à 15% de déchet	45
Tableau 4.7. La masse volumique du béton durci dosé à 15% de déchet	46
Tableau 4.8. La résistance à la compression en fonction du rapport E/C	46
Tableau 4.9 La résistance à la traction par flexion en fonction du rapport E/C	47
Tableau 4.10. La résistance à la traction par flexion de la bordure de trottoir	49

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Relation producteurs - consommateurs	7
Figure 1.2. Stratégie de gestion des déchets	9
Figure 1.3. Différents traitements possibles pour éliminer les déchets	12
Figure 3.2. Courbe granulométrique du déchet	25
Figure 3.3. Fluorescence des rayons X du déchet	26
Figure 3.4. Courbe granulométrique des différents granulats	29
Figure 3.5. Courbe de référence FAURY	35
Figure 3.6. Procédé de traitement de déchet par un liant hydraulique	38
Figure 3.7. Essai de compression	39
Figure 3.8. Essai de traction par flexion	40
Figure 4.1. Evolution de la masse volumique du béton en fonction du pourcentage de déchet	43
Figure 4.2. Evolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de déchet à 7, 14 et 28 jours	44
Figure 4.3. Evolution de la résistance à la traction par flexion en fonction du pourcentage de déchet à 7, 14 et 28 jours	45
Figure 4.4. Evolution de la résistance à la compression du béton	47
Figure 4.5. Evolution de la résistance à la traction par flexion du béton	48
Figure 4.6. Résistance à la traction par flexion de la bordure de trottoir	49

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

DEDICACES

RESUMES

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION GENERALE

1

CHAPITRE I GESTION DES DECHETS SOLIDES

I.2. GENERALITES SUR LES DECHETS

3

1.2.1. Définition d'un déchet

3

1.2.2. Cadre légal et réglementaire des déchets

4

I.3 ASPECTS QUALITATIFS ET QUANTITATIFS

5

1.3.1 Les déchets ménagers et assimilés

5

1.3.2. Les déchets de l'agriculture et des industries agroalimentaires

5

1.3.3. Les déchets industriels

5

1.3.4. Déchets fermentescibles

5

1.3.5. Les principales catégories des déchets

5

I.4. STRATEGIES DE GESTION ET FILIERES DE TRAITEMENT

7

1.4.1. Stratégies de gestion des déchets

8

1.4.2. Traitement interne et traitement externe

9

1.4.3. Filières de traitement des déchets

10

1.4.4. Filières d'élimination des déchets

10

CHAPITRE II GENERALITES SUR LE TRAITEMENT DES DECHETS

II.1. GENERALITES SUR LE PROCEDE DE STABILISATION/SOLIDIFICATION

13

II.1.1. Stabilisation

13

II.1.2. Solidification

13

II.1.3. Déchets à stabiliser/solidifier

14

II.1.4. Objectifs de la stabilisation/solidification des déchets

14

II.1.5. Caractérisation des déchets stabilisés/solidifiés

15

II.1.5.1. Tests réglementaires

16

II.1.5.2. Etude approfondie

16

II.2. PROCEDE DE STABILISATION/SOLIDIFICATION PAR DES LIANTS

17

HYDRAULIQUES

II.2.1. Ciment portland

17

II.2.2. Ciment / Cendre volante	18
II.2.3. Chaux / Cendre volants	18
II.2.4. Ciment / Silicates solubles	18
II.2.5. Argiles / Carbonates	19
II.3. PROCEDE DE STABILISATION/SOLIDIFICATION PAR DES LIANTS BITUMINEUX	20
II.3.1. Liants bitumineux	20
II.3.1.1. Origines et composition	20
II.3.2. Les enrobés bitumineux	21
II.3.2.1. Fabrication des enrobés bitumineux	21
II.3.2.2. Les qualités exigées des enrobés bitumineux	22
II.4. PROCEDE DE STABILISATION/SOLIDIFICATION PAR VITRIFICATION	22
II.5. ESSAI DE LIXIVIATION	23

CHAPITRE III CARACTERISATION DES MATERIAUX ET METHODES D'ESSAIS

III.1. CARACTERISTIQUES DU DECHET UTILISE	24
III.1.1. Analyse granulométrique du déchet	25
III.1.2. Fluorescence des rayons X du déchet	26
III.2. LES MATERIAUX UTILISES	27
III.2.1. Granulats	27
III.2.2. Ciment	27
III.2.3. Eau de Gâchage	27
III.3. CARACTERISATION ET CHOIX DES GRANULATS	28
III.3.1. Analyse granulométrique	28
III.3.2. Analyse chimique des granulats	30
III.3.3. Essai d'équivalent de sable	30
III.3.4. Poids spécifiques des granulats	30
III.3.5. Module de finesse	31
III.3.6. Essai Los Angeles	31
III.3.8. Essai d'usure Micro-Deval	32
III.3.9. Essai de propreté	32
III.3.10. Absorption d'eau	32
III.4. METHODES D'ANALYSES ET D'ESSAIS	33
III.4.1. Formulation du béton (Méthode de Faury)	33
III.4.1.1. Détermination des différents coefficients	34
III.4.1.2. Détermination des pourcentages des agrégats	36
III.4.1.3. Dosage en eau	36
III.4.1.4. Composition pondérale des constituants	36
III.4.1.5. Calcul de la densité théorique	37

III.4.2. Fabrication des éprouvettes	37
III.4.2.1. Confectionnement et malaxage	37
III.4.3. Incorporation du déchet	38
III.4.4. Modalité des essais	38
III.4.4.1. Essai sur béton frais	38
III.4.4.1.1. Mesure de la masse volumique du béton frais	38
III.4.4.1.2. La consistance du béton	39
III.4.4.2. Essai sur béton durci	39
III.4.4.2.1. Détermination de la masse volumique du béton durci	39
III.4.4.3. Essais mécaniques	39
III.4.4.3.1. Essai de compression	39
III.4.4.3.2. Essai de traction par flexion	39
 CHAPITRE IV RESULTATS ET INTERPRETATIONS	
IV.1. ESSAIS SUR BETON FRAIS	41
IV.1.1. Affaissement au cône d'Abrams	41
IV.1.2. La masse volumique	42
IV.2. ESSAIS SUR BETON DURCI	42
IV.2.1. La masse volumique du béton durci	42
IV.2.2. La résistance à la compression	43
IV.2.3. La résistance à la traction par flexion	44
IV.3. ETUDE DE L'INFLUENCE DU RAPPORT E/C	45
IV.3.1. Béton frais	45
IV.3.2. Béton durci	46
IV.3.3. L'effet du rapport E/C sur la résistance à la compression	46
IV.3.4. L'effet du rapport E/C sur la résistance à la traction par flexion	47
IV.4. FORMULATION DU BETON DESTINE AUX BORDURES DE TROTTOIR	48
 CONCLUSION GENERALE	 50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	52
ANNEXE I	54
ANNEXE II	57

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Introduction générale



Introduction générale

De tout temps, l'homme s'est préoccupé de son environnement naturel. Toutes les civilisations anciennes, tous les humanistes ont pris conscience de la nécessité de faire corps avec l'environnement. L'entretien et la protection du milieu vital sont toujours apparus comme indispensables aux hommes d'esprit. Les préoccupations écologiques, la protection de l'environnement, notamment, l'air, l'eau et le sol sont devenues, en l'espace de quelques années, un puissant facteur de l'évolution de nos modes de production, de consommation et donc de nos modes de vie.

L'Algérie comme plusieurs pays au monde fait face à de sérieux problèmes de dégradation de l'environnement et de pertes de ressources naturelles.

La protection de l'environnement en Algérie doit être prise comme partie intégrante du développement lui-même. Bâtir des politiques publiques constitue le socle de base pour la mise en œuvre des programmes d'utilisation rationnelle des ressources naturelles, de fourniture de services environnementaux de qualité et d'amélioration de la performance environnementale.

Le traitement et la valorisation des déchets peuvent contribuer positivement à la protection de l'environnement et à la diminution de la quantité des déchets évacués vers les décharges en augmentant leur durée d'exploitation ; cela permettra à l'Algérie :

- Une économie substantielle des matières premières,
- De retrouver un meilleur équilibre de ses écosystèmes,
- Un environnement sain.

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, d'une part, de la limitation et de l'épuisement dans certaines régions.

Pour atténuer le risque de pollution de l'environnement, on peut procéder par un traitement de solidification/stabilisation par un liant hydraulique qui doit permettre d'immobiliser, au sein d'une matrice solide (enrobage de bitume ou résine, confinement dans des bétons, vitrification), les éléments polluants contenus dans le déchet traité. Deux effets sont visés : le confinement et la réduction à un faible niveau de leurs solubilités.

Plusieurs déchets ont été incorporés dans ce domaine, soit comme agrégats dans le béton, soit comme ajout dans la fabrication de ciment ou encore dans les techniques routières.

Notre étude porte sur une contribution à la valorisation d'un déchet industriel qui est nuisible en raison de son caractère polluant.

Vu la diversité des déchets industriels et leurs propriétés, nous avons opté pour la valorisation d'un déchet pétrolier qui est une boue de bac de stockage, provenant plus précisément de bac de stockage de mazout (gasoil) se trouvant au centre de stockage de NAFTAL EL-HARRACH.

En effet au vu de la nature du déchet et du liant utilisé, le matériau élaboré pourrait trouver une utilisation en tant qu'élément de bordures de trottoirs.

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

Le premier chapitre traite des généralités sur la gestion des déchets solides en présentant les différents modes et techniques de leur traitement.

En deuxième chapitre, nous nous sommes intéressés à la présentation de quelques généralités sur le procédé de traitement choisi, en vu d'atténuer le risque de pollution en utilisant des liants hydrauliques.

Un troisième chapitre a été consacré à la caractérisation des constituants rentrant dans la formulation du béton hydraulique tels que les granulats, ciment et les méthodes d'essais utilisées.

Dans le quatrième chapitre, les résultats expérimentaux obtenus suivis des discussions et interprétations.

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

A decorative frame resembling a scroll, with a vertical bar on the left side and rounded corners. The text is centered within this frame.

Chapitre I

Gestion des déchets solides



Gestion des déchets solides

I.1. GENERALITES SUR LES DECHETS :

A l'origine de toute mesure particulière visant les déchets, il y a l'hypothèse que la notion même de déchet peut être définie. Or la plupart des auteurs s'accordent à dire qu'il n'existe pour le moment aucune définition satisfaisante du déchet. En effet, suivant les acteurs impliqués et le contexte auquel on se réfère, la notion de déchet peut viser des objets de nature et de fonctions différentes.

Pour éviter les malentendus, les différents acteurs impliqués dans la gestion de l'environnement ont tenté de donner une définition au mot déchet. Il existe en réalité plusieurs définitions qui correspondent chacune à un objectif particulier. Chaque définition vise pour un groupe d'acteur à établir l'ensemble des objets qui devront faire l'objet d'un comportement particulier ou d'une attention particulière, mais c'est en dernier lieu la définition légale qui devra servir de référence [1].

I.1.1. 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 du 15 juillet 1975 plus récemment la loi française du 13 juillet 1992 a introduit la notion de « déchet ultime » : « 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 » [2].

Plus récemment, la loi 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 :

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

I.1.2. Cadre légal et réglementaire des déchets :

L'évolution qu'a connue l'Algérie, notamment en matière d'industrialisation, de modes de vie et de consommation, s'est bien entendu répercutée sur la production des déchets solides, que ce soit qualitativement ou quantitativement. Afin de préserver l'environnement [3].

L'Algérie a mise en place un certain nombre de lois et décrets relatifs à cette fin et qui obligent les générateurs et/ou détenteurs de déchets de les valoriser.

Si le déchet est habituellement défini comme un résidu abandonné par son propriétaire car inutilisable, sale ou encombrant, il a, au regard de l'environnement, une définition juridique: est un déchet, au sens de la loi n°01-19 du 27 Ramadhan 1422 correspondant au 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance, ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou d'éliminer.

En plus de cette loi qui définit le déchet, l'Algérie possède d'autres lois et décrets relatif à la protection de l'environnement telle que :

- Loi N° 83-03 du 05/02/1983, 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 15/12/1984, fixant les conditions de nettoyage, d'enlèvement et de traitement des déchets solides urbains.
- Le décret exécutif N° 94-43 du 30/01/1994, 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 12/12/2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Décret N°02-372 du 11/11/2002 relatif aux déchets d'emballages.

I.2. ASPECTS QUALITATIFS ET QUANTITATIFS :

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

I.2.1. 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...) [4].

I.2.2. Les déchets de l'agriculture et des industries agroalimentaires :

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

I.2.3. 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.2.4. Déchets fermentescibles :

Déchets composés de matières organiques biodégradables, elles 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 [4].

I.2.5. 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 [2].

- **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...) [2].
- **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 [2].

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 1.1 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 1.1 : Différents types de déchets [5]

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 [5].

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 [5] :

- 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 azotées.

I.3. STRATEGIES DE GESTION ET FILIERES 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.

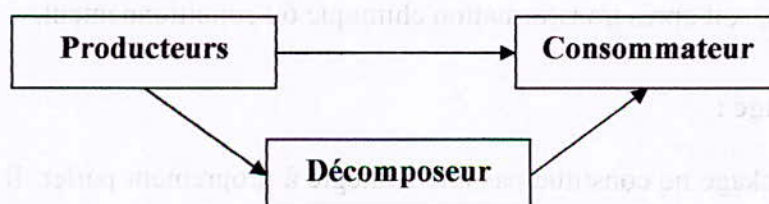


Figure 1.1 : Relation producteurs - consommateurs [4]

1.3.1. Stratégies de gestion des déchets :

Il existe cinq stratégies de gestion des déchets [6] :

➤ **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 produit 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.

➤ **Stockage :**

Le stockage ne constitue pas une stratégie à proprement parler. Il s'agit de la dernière étape de tout traitement débouchant sur un déchet ultime auquel il faut bien trouver un exutoire.

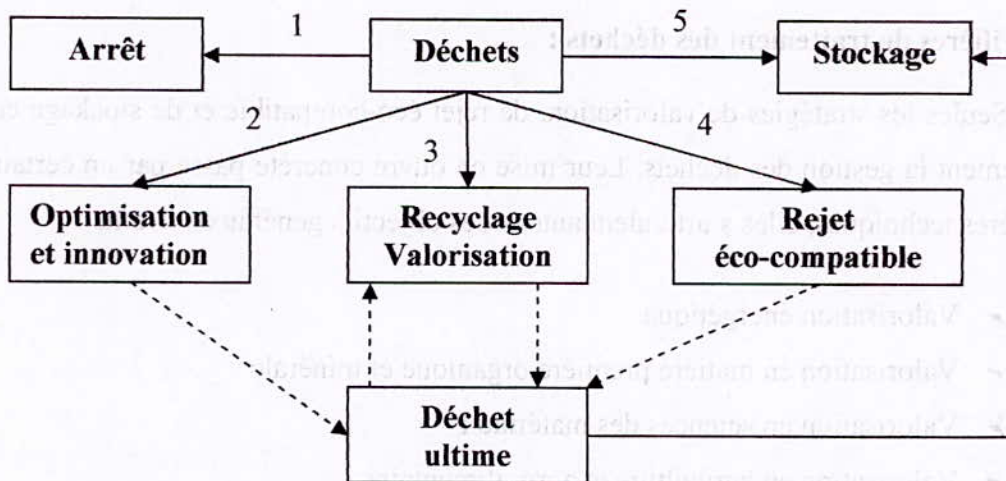


Figure 1.2. Stratégie de gestion des déchets

I.3.2. Traitement interne et traitement externe :

Les stratégies préventives (arrêt de la production et optimisation) ne peuvent être mises en place qu'au sein de l'entreprise productrice du déchet visé. Pour les stratégies de traitement, deux possibilités existent : une mise en oeuvre directement par le producteur de déchet, on parle alors de traitement interne, ou le recours à une entreprise spécialisée dans le traitement des déchets, auquel cas on parle de traitement externe. Les deux modes de traitement concernent des quantités de déchets équivalentes [6]

Le traitement interne a l'avantage de limiter les transports de déchets. Cependant, la maîtrise d'une installation de traitement requiert parfois des compétences que les petites entreprises ne possèdent pas nécessairement. Ceci se traduit par un mauvais fonctionnement des installations et un problème de pollution chronique qui pourrait être évité par un recours au traitement externe.

Enfin, dans le cas des grandes entreprises (pétrochimie, sidérurgie...), les installations de traitement interne peuvent être assimilées à des installations de traitement externe étant donné les quantités importantes de déchets qu'elles reçoivent et la provenance de ces déchets issus parfois d'usines éloignées.

Les questions que se pose un producteur de déchets ne sont pas les mêmes suivant qu'il envisage une solution externe ou interne. Dans le premier cas, il cherchera principalement à savoir où faire traiter le déchet produit alors que, dans l'autre cas, il devra identifier comment le traiter.

I.3.3 Filières de traitement des déchets :

Seules les stratégies de valorisation, de rejet éco-compatible et de stockage concernent directement la gestion des déchets. Leur mise en œuvre concrète passe par un certain nombre de filières techniques, elles s'articulent autour des objectifs généraux suivants :

- Valorisation énergétique
- Valorisation en matière première organique et minérale
- Valorisation en sciences des matériaux
- Valorisation en agriculture et agro-alimentaire
- Valorisation en technique de l'environnement
- Technique dite d'élimination.

Chacun de ces objectifs peut être atteint en faisant appel à un nombre limité de filières techniques (Tableau 1.2).

I.3.4. Filières d'élimination des déchets :

Longtemps réduite à la seule solution de l'abandon incontrôlé, l'activité « d'élimination » donne maintenant lieu au développement d'outils techniques qui utilisent les plus récents acquis scientifiques. L'objectif est d'aboutir à un « déchet ultime » le moins actif et dangereux possible, qui sera mis en décharge dans des sites rigoureusement contrôlés et spécialement agencés [4].

Les différentes filières possibles d'élimination sont représentées sur la figure 1.3.

Objectifs	Filière	Exemple
Valorisation énergétique	1	combustion Incinération des ordures ménagères, de pneu, de solvant
	2	Elaboration de combustibles dérivés : Procédés mécaniques (broyage, tri, Séchage...) Combustibles extraits des ordures ménagères Plaquettes de sciure Charbons pauvres enrichis
	3	Elaboration de combustibles dérivés : Procédés biologiques (biogaz, alcool) Biogaz des décharges Alcools issus de déchets sucrés...
	4	Elaboration de combustibles dérivés : Procédés thermiques (pyrolyse, gazéification...) Charbons issus de la biomasse Pyrolyse des matières plastiques et des pneus...
Valorisation de matières plastiques	5	Matières premières minérales (naturelles et de synthèse) Alcools, sucres, protéines Solvants, huiles de synthèse
	6	Matières premières minérales (métalliques et non métalliques) Récupération de fer, aluminium Récupération de soufre, acides chlorhydriques et sulfuriques...
Valorisation en sciences des matériaux	7	Liants hydrauliques et matériaux de structures Valorisation des cendres volantes de centrales thermiques, des laitiers de hauts fourneaux Utilisation de déchets plastiques en terrassement
	8	Verre et céramiques Recyclage du verre
	9	Matières plastiques et caoutchoucs Recyclage des plastiques Recyclages des pneus...
	10	Fibres cellulosiques de récupération Récupération du papier et recyclage Déchets de textiles utilisés en papeterie
	11	Autres matériaux Utilisation en arts plastiques Multiples usages des pneumatiques...
Valorisation en agriculture et agro-alimentaire	12	Elaboration d'amendements organiques Compost urbain Boues de stations d'épuration
	13	Elaboration d'amendements minéraux Scories potassiques et chaux résiduaire Déchets ammoniacaux
	14	Alimentation animale Déchets de restauration Déchets de laitiers, abattoirs...
Valorisation en technique de l'environnement	15	Epuration des effluents liquides et gazeux Sulfate ferreux résiduaire en floculation des eaux Boues biologiques en désodorisation des gaz Filtration sur déchets minéraux broyés
	16	Conditionnement de déchets toxiques par d'autres déchets Utilisation de déchets liants hydrauliques, de déchets plastiques et de verre en solidification - stabilisation
Filières d'élimination	17	Incinération et autres procédés thermiques Destruction de déchets toxiques, déchets hospitaliers, effluents pollués
	18	Traitements biologiques Stabilisation aérobie de boues
	19	Traitements physico-chimiques et chimiques Neutralisation, oxydation, complexation, inertage, détoxification partielle...
	20	Mise en décharge Décharges traditionnelles Mines de sol...

Tableau 1.2. Filières de traitement des déchets [7]

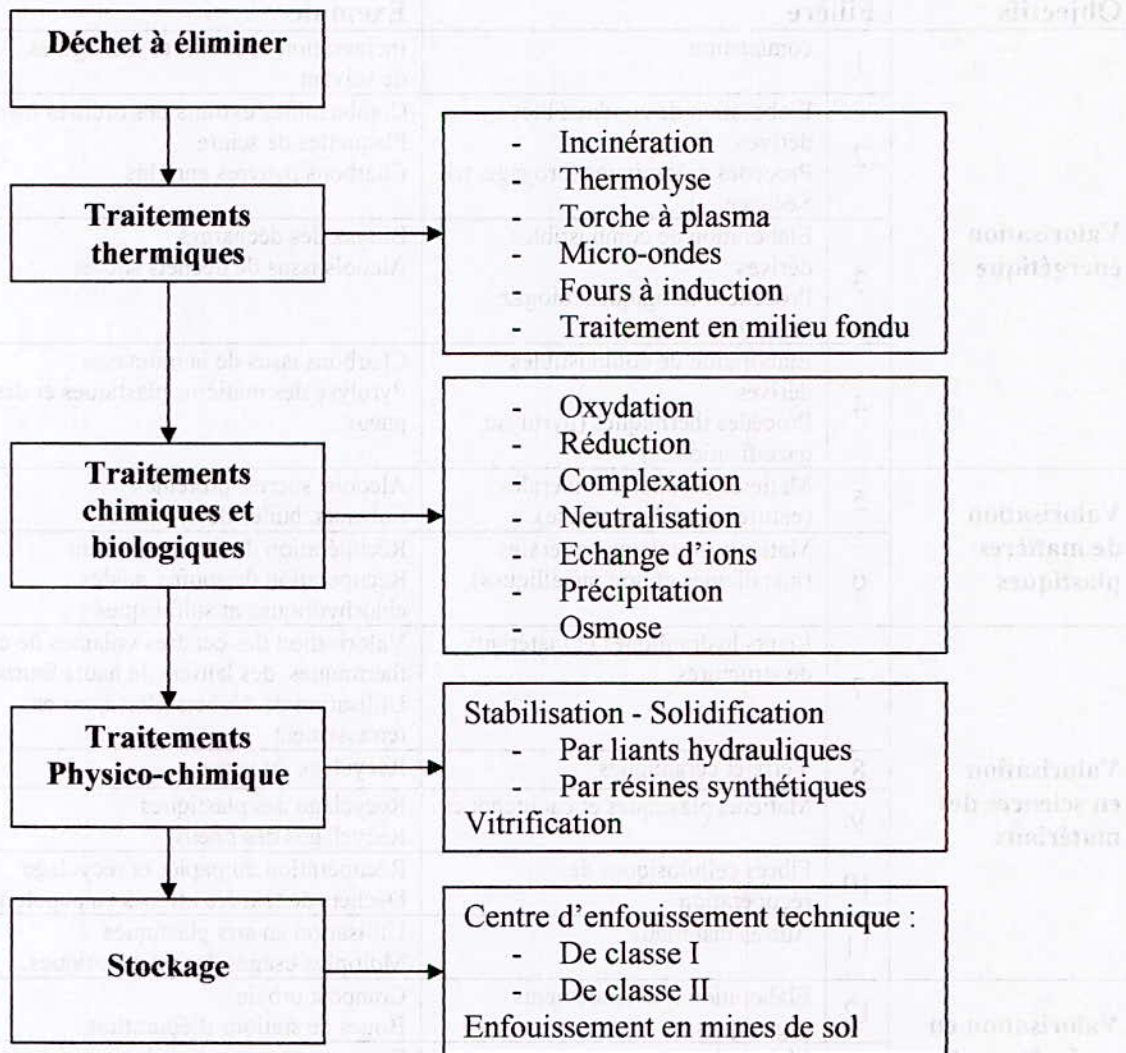
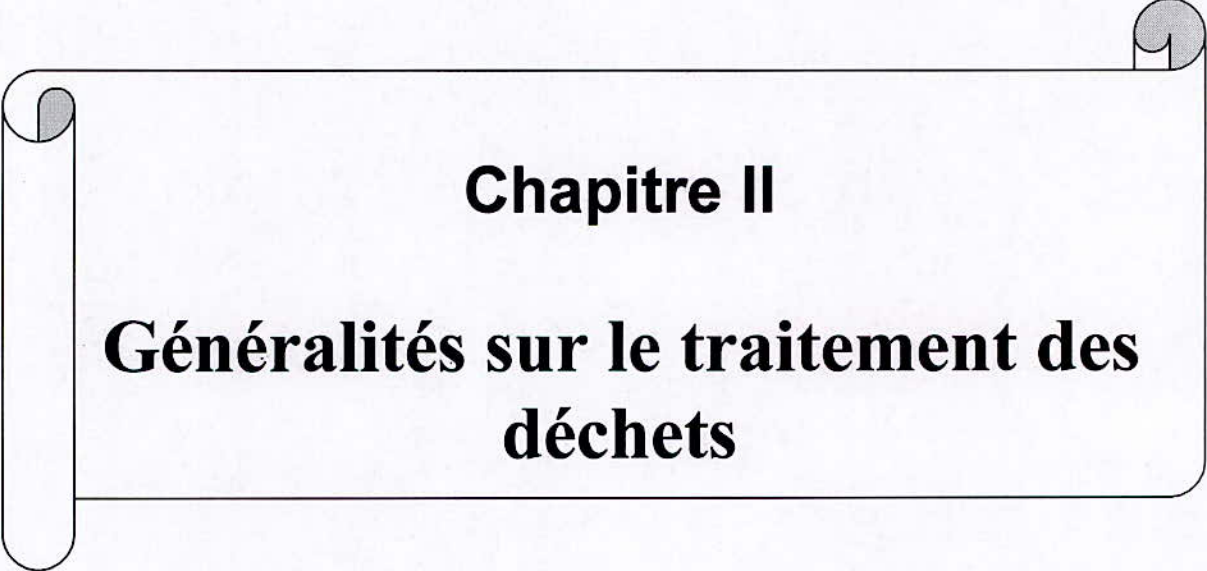


Figure 1.3. Différents traitements possibles pour éliminer les déchets

Cette partie met en évidence la diversité des déchets, notamment industriels ainsi que leurs effets néfastes sur l'environnement en générale et la santé humaine en particulier. Elle marque aussi la nécessité de gérer ces déchets, comme elle présente les différents modes et techniques de leur traitement.

Pour notre déchet qui est un déchet pétrolier solide issu de l'activité industrielle, on a opté pour le traitement suivant le procédé de stabilisation/solidification, aussi on présente dans le chapitre suivant les généralités sur ce procédé.

A decorative frame resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and rounded corners. The text is centered within this frame.

Chapitre II

Généralités sur le traitement des déchets

II

Généralités sur le traitement des déchets

La gestion des déchets solides et liquides, qui proviennent de l'industrie pétrolière représente un des problèmes courants de l'industrie. Dans l'environnement le problème est limité essentiellement à la pollution des endroits de décharges et de stockages des déchets. 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.1. GENERALITES SUR LE PROCEDE 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 [8,9].

II.1.1. Stabilisation :

Ce sont des techniques qui réduisent le potentiel toxique ou dangereux par transformation des espèces toxiques (cation métalliques, anions, sels) présentes dans le déchet en espèces insolubles [8,9].

II.1.2. Solidification :

Ce sont des techniques qui permettent la transformation du déchet qui sera entouré d'une enveloppe imperméable et chimiquement inerte (ceci réduit la migration des éléments

toxiques vers le milieu extérieur) en un solide compact. La solidification n'induit pas nécessairement une réaction chimique entre le déchet et l'agent de solidification [8,9].

II.1.3. Déchets à stabiliser/solidifier

Les déchets ultimes à stabiliser/solidifier sont classés par la législation française en deux catégories (Tableau 2.1). Les catégories A et B regroupent des déchets ultimes pour lesquels la stabilité constitue un critère d'acceptabilité en centre de stockage.

Catégorie	Déchets à stabiliser
<p>A</p> <p>Déchets devant être stabilisés avant stockage depuis le 30 mars 1995</p>	<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>B</p> <p>Déchets devant être stabilisés avant stockage depuis le 30 mars 1998</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

Tableau 2.1. Liste des déchets industriels spéciaux ultimes à stabiliser/solidifier [10]

II.1.4. Objectifs de la stabilisation/solidification des déchets :

Le procédé de stabilisation/solidification doit répondre aux objectifs suivants :

- Transformer le déchet en un solide plus facile à transporter et à stocker.
- Diminuer la surface d'exposition à l'environnement des contaminants.
- Limiter la solubilité des contaminants en cas de contact avec un fluide lixiviant en minimisant ainsi les risques de pollution des cours d'eau et des nappes phréatiques par des éléments toxiques.

Un matériau liant est utilisé pour atteindre les objectifs de stabilisation/solidification. La matrice liante permet, outre la solidification, la réduction de la surface de contact entre le

déchets et l'environnement. Elle agit ainsi comme élément de stabilisation du déchet dans la mesure où, en réduisant l'interface déchet environnement, elle réduit la mobilité de ses contaminants. Cependant le terme de stabilisation est plus souvent retenu pour les matrices qui interagissent chimiquement avec le déchet en immobilisant les polluants [8, 9,10].

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 ».

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 2.2. Critères d'admission des déchets ultimes [11]

II.1.5. Caractérisation des déchets stabilisés/solidifiés [12] :

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 [12].

II.1.5.1. 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. Un test de lixiviation est également effectué pour comparer les valeurs des fractions aux valeurs seuils fixées par les textes législatifs (voir tableau 2.2).

La procédure réglementaire est détaillée en annexe 1.

II.1.5.2. 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 des 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 comparés 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.2. PROCÉDE 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 anhydre instable. En présence d'eau, il 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 (cendre 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 [8,9,10].

II.2.1. 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 vus 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 solvatation 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 2.3 [8, 9, 10].

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 2.3. Proportion des principaux produits d'hydratation du ciment portland

II.2.2. 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 [8,9].

II.2.3. 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,
- La 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 [8,9,10].

II.2.4. Ciment / Silicates solubles :

Les silicates solubles ont une fonction d'immobilisation des agents métalliques et des adaptations intéressantes comparant à utilisation 50% de chaux.

Le système est basé sur la réaction entre le 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 parti 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 [13] :

- 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 : cendre volantes, argile, minéral.

II.2.5. 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) [14].

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

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

Les valeurs de la densité optimales et les teneurs en eau optimum pour les deux cas sont représentées dans le tableau 2.4 :

TYPE D'ABSORBANT	POIDS SPECIFIQUE SEC (G/CM³)	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 2.4. 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.3. PROCÉDE DE STABILISATION / SOLIDIFICATION PAR DES LIANTS BITUMINEUX :

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 a 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.3.1. Liants bitumineux :

Les liants bitumineux se présente sous la forme de corps visqueux, plus ou moins viscoélastiques, dont la couleur varie du brun ou noir. Il contient essentiellement des éléments hydrocarbonés. Les liants bitumineux proviennent de gisements naturels ou de résidus de la distillation du pétrole [8,9].

II.3.1.1. Origines et composition [12] :

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 fabrications 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'autre type 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.3.2. Les enrobés bitumineux :

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

On peut définir trois classes d'enrobés en fonction de leurs granularités qui sont [15]:

- **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.3.2.1. Fabrication des enrobés bitumineux [12] :

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 coulé 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.3.2.2. Les qualités exigées des enrobés bitumineux [15] :

- **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 désenrobage 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.4. PROCÉDE DE STABILISATION/SOLIDIFICATION PAR VITRIFICATION :

Ce procédé est utilisé principalement pour les déchets radioactifs. Il consiste à porter les déchets et les additifs comme le calcaire à environ 1400°C pour obtenir un verre en fusion qui sera ensuite coulé en bloc de relative petite taille afin de limiter le temps de refroidissement.

Le coût énergétique est élevé puisque il fait porter le déchet à des températures variant entre 1000 et 1400°C.

Au-delà du coût énergétique, cette contrainte de température va poser des problèmes lorsque le déchet contient des éléments volatils (mercure, plomb).

Une fraction importante de ces éléments va se retrouver dans les gaz issus du four, ce qui

exige un traitement efficace de ces fumées.

Les produits obtenus par le procédé de stabilisation/solidification par vitrification sont très stables avec une importante réduction de volume (environ 50%) [15].

Afin de juger l'efficacité d'un traitement, on procède généralement à un test de lixiviation.

II.5. ESSAI DE LIXIVIATION [16] :

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).

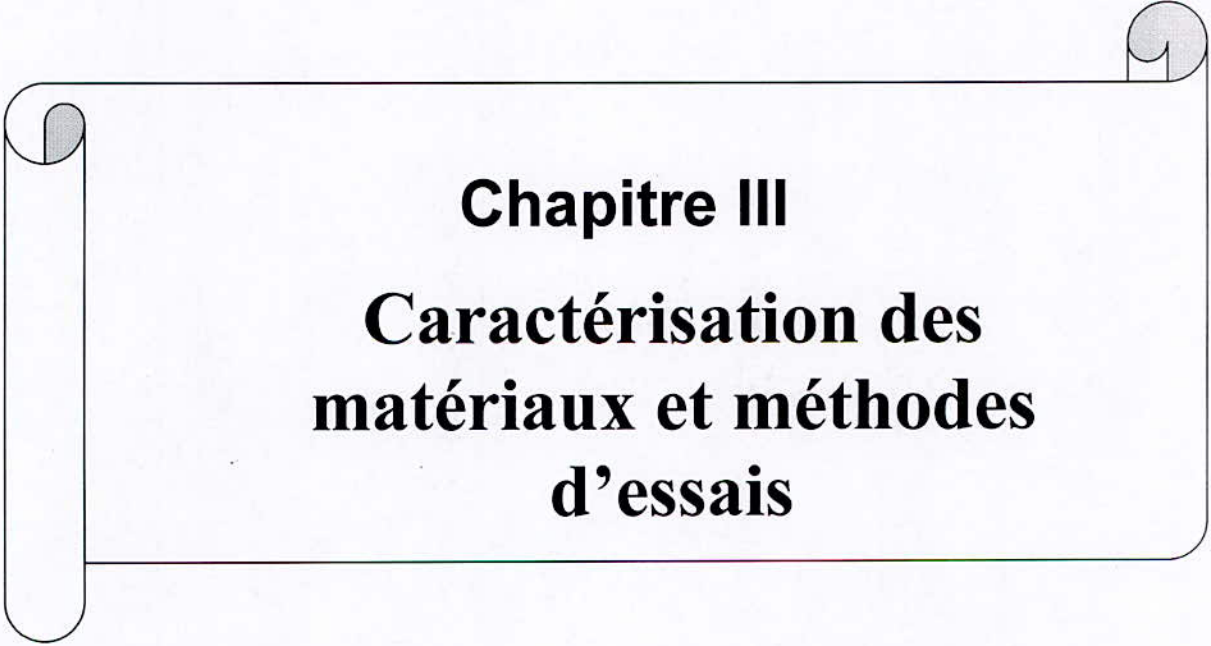
Le tableau 2.5 donne la lixiviation de certains métaux lourds en utilisant différents traitements :

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 2.5. Evolution de la fraction lixiviée en fonction du traitement utilisée [8,9]

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.

De ce chapitre on conclue qu'il est nécessaire de connaître parfaitement le déchet (son origine et sa complexité) avant de procéder à des essais de stabilisation/solidification et ceci dans le but d'envisager correctement le procédé adéquat et que ce soit par utilisation des liants hydrauliques ou bitumineux ou par vitrification. 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.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the top and bottom edges, framing the chapter title.

Chapitre III
Caractérisation des
matériaux et méthodes
d'essais

Caractérisation des matériaux et méthodes d'essais

Dans ce chapitre on traite d'une part, de la détermination des caractéristiques de déchet à traiter des différents constituants entrant dans la confection d'un mélange du béton hydraulique (granulats, ciment), et d'autre part de la présentation des modes de confection de ce dernier en indiquent les différents essais réalisés sur le béton.

III.1. CARACTERISTIQUES DU DECHET UTILISE :

Le déchet utilisé est un déchet pétrolier qui est une boue de bac de stockage, provenant plus précisément de bac de stockage de mazout (gasoil) se trouvant au centre de stockage de NAFTAL EL-HARRACH.

Le déchet (la boue) est formé principalement par la rouille du réservoir en acier, consistent en un mélange d'oxyde de fer, gasoil.

Une analyse minéralogique par diffraction des rayons X effectuée sur une fraction de ce matériau au centre de recherche et développement de Sonatrach (C.R.D) montre la présence des éléments suivants :

- Quartz SiO_2
- Geothite FeO(OH)
- Magnetite Fe_3O_4
- Albite $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$
- Orthocriase KAlSi_3O_8
- Calcite CaCO_3

Le pourcentage des différents éléments constituant le déchet sont représentés dans le tableau 3.1 :

Désignation	% Eléments										
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂	Cr ₂ O ₃
	13,21	1,12	60,89	2,78	0,09	0,358	0,18	0,12	0,165	0,146	0,030
	% Eléments										
SO ₃	ZrO ₂	SrO	Rb ₂ O	PbO	ZnO	CuO	NiO	BaO	Cl	PAF	
0,60	<0,001	0,0067	0,0035	0,0219	0,1813	0,0395	0,0093	<0,01	0,13	20,50	
										Total	100,33

Tableau 3.1. Fluorescence des rayons X

Les résultats du tableau confirment la définition de la boue, à savoir sa richesse en fer (60.89%) qui est l'élément prédominant. Le déchet contient aussi d'autres métaux lourds tels que le plomb, le cuivre, le zinc, le manganèse.

Tous ces métaux sont nocifs et toxiques pour l'homme, c'est pour cette raison les règlements préconisent la gestion et le traitement de ce type de déchets pour éviter toute contamination par exposition directe ou indirecte.

III.1.1. Analyse granulométrique du déchet :

L'analyse granulométrique du déchet est donnée au tableau 3.2, et la figure 3.2.

Diamètre des tamis (mm)	Refus		Tamisat	
	Refus (g)	Refus cumulé (g)	Tamisat	% Tamisat
6,3	0	0	1500	100
5	175	175	1325	88,33
3,15	95	270	1230	82,00
2,5	80	350	1150	76,67
1,25	465	815	685	45,67
0,63	590	1405	95	6,33
0,315	80	1485	15	1,00
0,16	10	1495	5	0,33
0,08	5	1500	0	0,00

Tableau 3.2. Analyse granulométrique du déchet

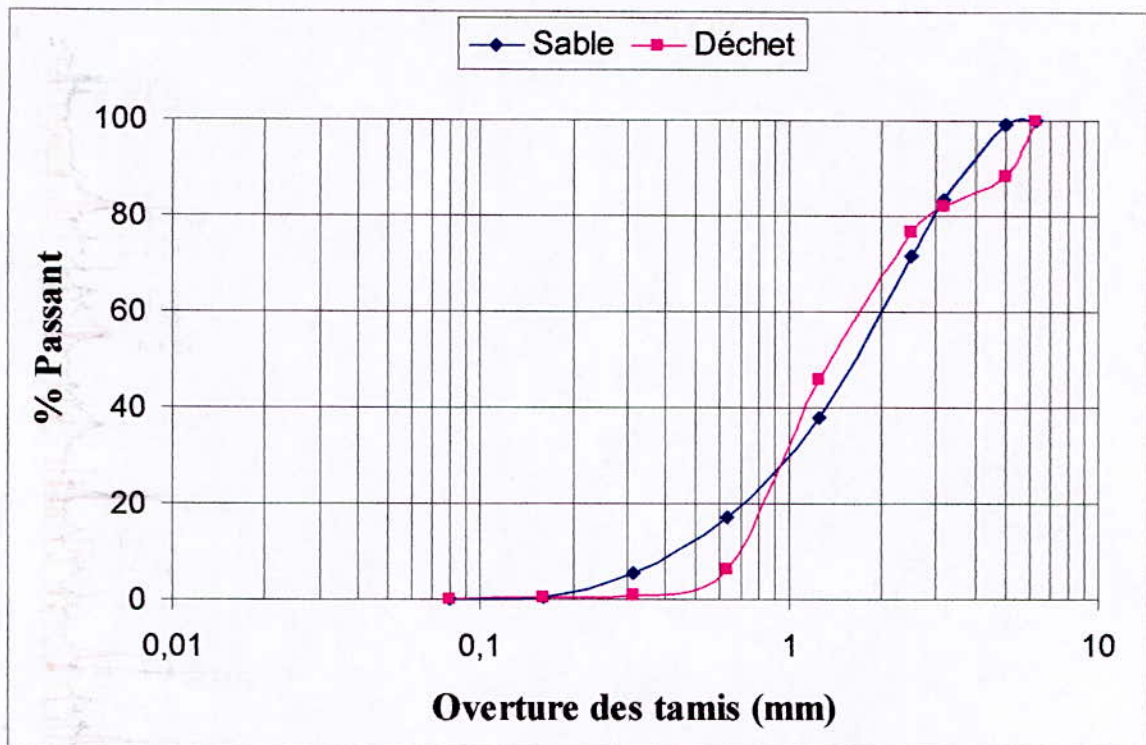


Figure 3.1. Courbe granulométrique du déchet

Le déchet brut présente des particules dont la taille atteint quelques centimètres (figure 1 Annexe II), or le déchet substituera dans la formulation du béton comme un sable. Il faut signaler aussi que les grandes particules du déchet sont essentiellement constituées de rouille provenant du bac de stockage. Pour homogénéiser la boue et pour obtenir une granulométrie proche de celle du sable, nous avons procédé au concassage de la boue.

III.1.2. Fluorescence des rayons X du déchet :

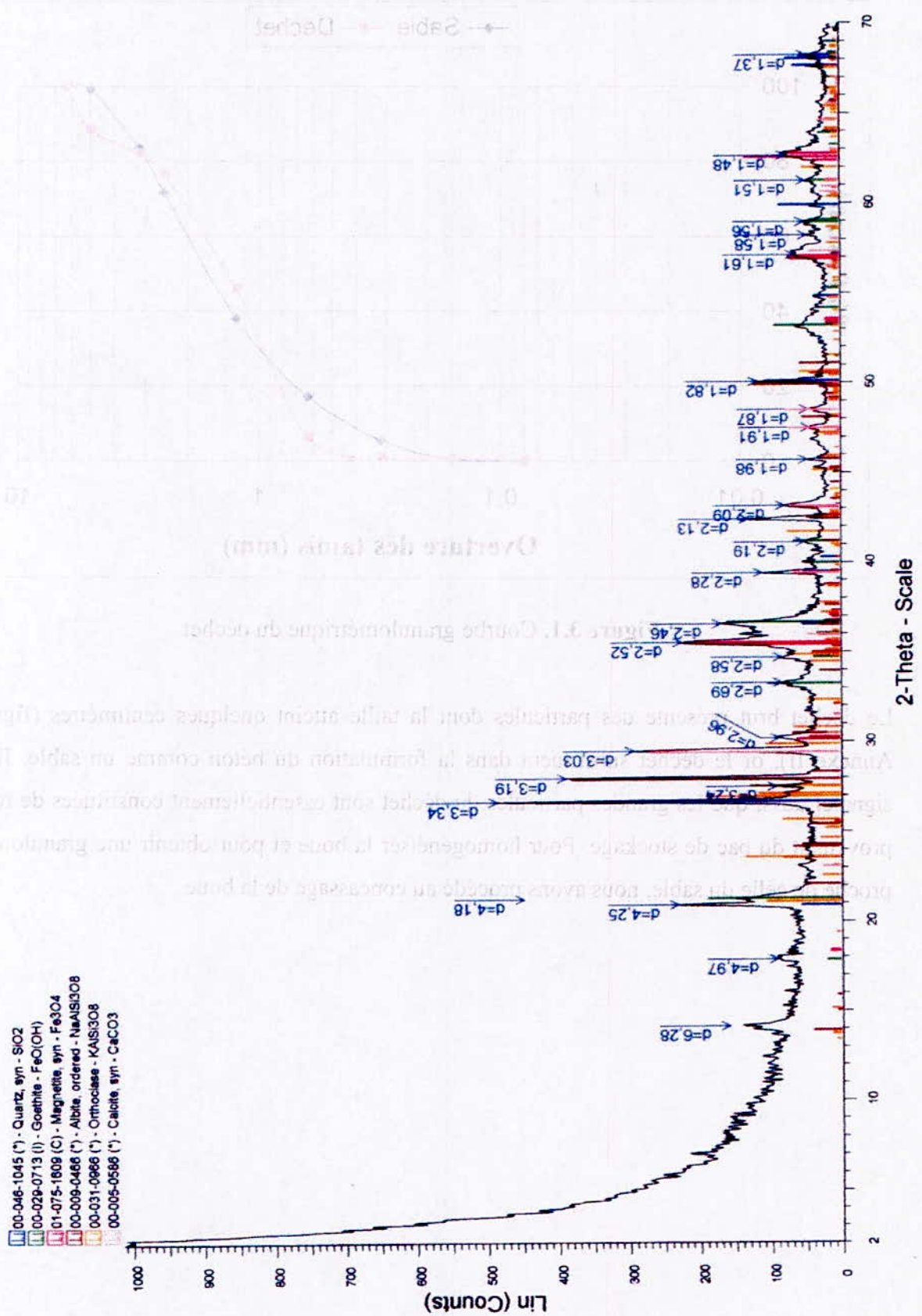


Figure 3.2. Fluorescence des rayons X du déchet

III.2. LES MATERIAUX UTILISES :

III.2.1. Granulats :

On a utilisé trois fractions granulaires dans notre étude :

- Sable 0/5
- Gravier 3/8
- Gravier 8/15.

III.2.2. Ciment [17] :

Le ciment utilisé, est un ciment portland composé CPJ CEM II/A 32.5, de la cimenterie de MEFTAH, il est livré dans des sacs de 50 kg. Le ciment Portland composé CPJ CEM II/A 32.5 résulte de la mouture : d'au moins 80% de CLINKER PORTLAND, du complément à 100% d'un ou plusieurs constituants secondaire : (Laitier, filer calcaire,...) ; de sulfate de calcium sous forme de gypse en tant que régulateur de prise.

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 $\mu\text{m/m}$. L'expansion mesurée à chaud et à froid, sur éprouvette de pâte pure est inférieure à 10 mm.

III.2.3. Eau de Gâchage :

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

III.3. CARACTERISATION ET CHOIX DES GRANULATS :

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

Le choix et la caractérisation moyennent une série d'essais au laboratoire, nous permettront de déterminer les caractéristiques mécaniques, physiques et géométriques.

III.3.1. Analyse granulométrique [18] :

L'analyse granulométrique 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 d'une série de tamis et de passoires, par définition, un tamis comporte des mailles carrées constituées par des fils qui se croisent, et une passoire comporte des trous ronds, pratiqué dans une tôle.

Les résultats de l'analyse granulométriques sont représentés dans la courbe granulométrique. En abscisse et sur une échelle logarithmique on porte les dimensions des tamis et passoires (tamis de 4 mm est équivalent à une passoire de $4 \times 1.25 = 5$ mm).

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

Les résultats de l'analyse granulométriques des différents granulats sont représentées sur le tableau 3.3 et la figure 3.3.

Granulats	Sable		Gravier 3/8		Gravier 8/15		
	Poids = 2 Kg		Poids = 2 Kg		Poids = 2 Kg		
	Refus (g)	Tamisat (%)	Refus (g)	Tamisat (%)	Refus (g)	Tamisat (%)	
Diamètre des tamis (mm)	20	/	/	/	0	100	
	16	/	/	/	25	98,75	
	12,5	/	/	/	413	78,10	
	10	/	/	0	100	44,15	
	8	/	/	0	100	514	16,20
	6,3	0	100	100	95	265	2,95
	5	16	99,2	510	69,5	50	0,45
	3,15	314	83,5	1165	11,25	/	/
	2,5	235	71,75	/	/	/	/
	2	/	/	200	1,25	/	/
	1,25	680	37,75	/	/	/	/
	1	/	/	15	0,5	/	/
	0,63	415	17	/	/	/	/
	0,315	236	5,35	/	/	/	/
	0,16	92	0,6	/	/	/	/
0,08	12	0	/	/	/	/	

Tableau 3.3. Analyse granulométrique des différents granulats

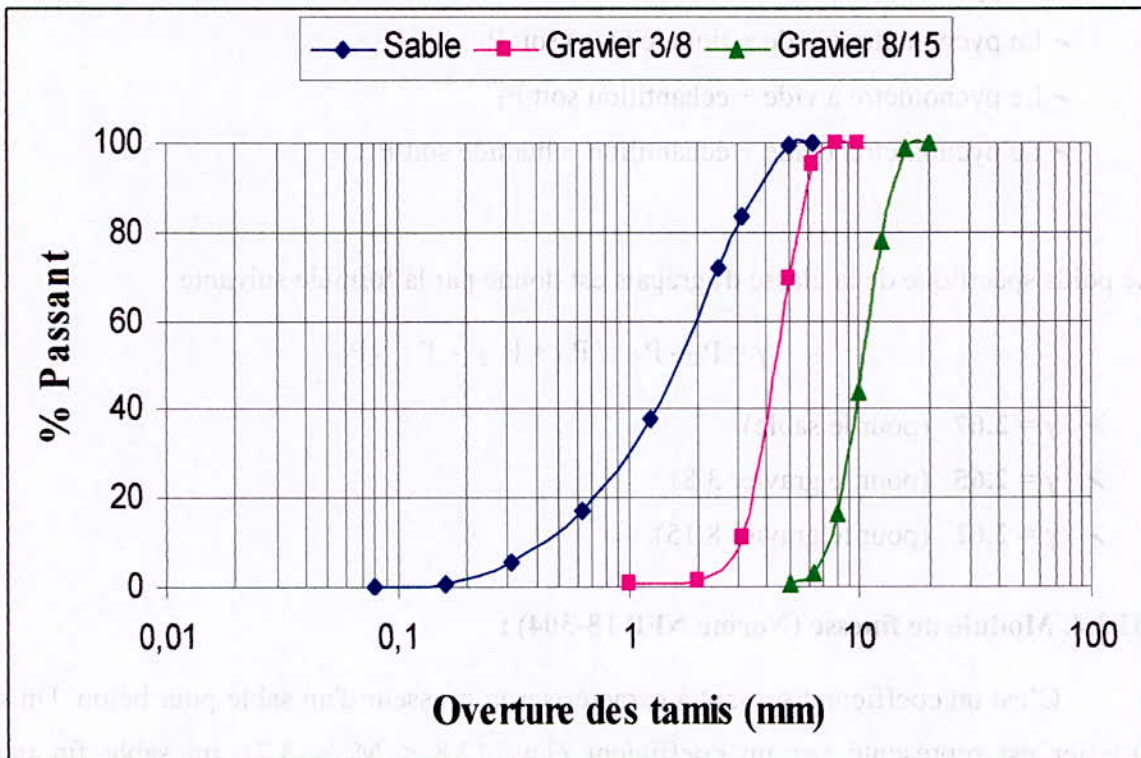


Figure 3.3. Courbe granulométrique des différents granulats

III.3.2. Essai d'équivalent de sable [19] :

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté de sable entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les particules fines d'un poids défini de sable par une solution flocculante, qui a pour but de mettre en suspension les éléments argileux. On laisse décanter le mélange pendant 20 minutes, après agitation (90 cycles de secouage en 30 s) on mesure une hauteur (H_1) qui correspond au sédiment et (H_2) au sédiment + flocculat. L'équivalent de sable est donné par : $ES = (H_1 / H_2) * 100$

Notre sable présente un ES à vue de 87,44 % et 85,70 % au piston. Ce sable est jugé propre et convient aux bétons de qualité.

III.3.3. Poids spécifiques des granulats [20] :

La formulation d'un béton hydraulique passe obligatoirement par la connaissance du poids spécifique d'un granulat qui dépend de l'unité choisie est le poids de l'unité de volume de matière à une température donnée, on le détermine au pycnomètre.

L'essai consiste à faire les pesées suivantes :

- Le pycnomètre à vide soit P_0
- Le pycnomètre à vide + liquide (eau) soit P_1
- Le pycnomètre à vide + échantillon soit P_2
- Le pycnomètre à vide + échantillon + humide soit P_3

Le poids spécifique de la classe d'agrégats est donné par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{P_2 - P_0}{P_1 + P_2 - P_3 - P_0}$$

- $\gamma = 2.67$ (pour le sable)
- $\gamma = 2.65$ (pour le gravier 3/8)
- $\gamma = 2.62$ (pour le gravier 8/15).

III.3.4. Module de finesse (Norme NFP 18-304) :

C'est un coefficient servant à caractériser la grosseur d'un sable pour béton. Un sable grossier est représenté par un coefficient élevé ($2.8 < M_f < 3.2$), un sable fin par un coefficient plus faible ($1.8 < M_f < 2.2$) et un sable moyen par ($2.2 < M_f < 2.3$) qui est préférentielle pour la confection des bétons

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.

- $M_f = 2,85$ donc $2.8 < M_f < 3.2$ c'est-à-dire que c'est un sable grossier ;

III.3.5. Essai Los Angeles [21] :

L'essai consiste à estimer la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques. Il est réalisé sur les classes granulaires 4/6.3, 6.3/10 et 10/14.

On place 5 kg de granulats et des boules en acier (7 à 11 de 420 g) dans un tombeur muni d'une plaque intérieure suivant la génératrice.

Après un nombre normalisé de tours (500 tours à 33 tours/mn), on récupère le passant P au tamis 1,6 mm.

Le coefficient Los Angeles est : $LA = 100 P / 5000$

Le coefficient Los Angeles est d'autant plus élevé que le granulat est moins bon, la valeur spécifier par les normes est 40 %.

Les résultats obtenus sont :

- Gravier 3/8 : $LA = 25,4 \%$
- Gravier 8/15 : $LA = 28,82 \%$.

III.3.6. Essai d'usure Micro-Deval [22] :

L'essai Micro-Deval consiste à estimer la résistance à la fragmentation par choc et à l'usure au contact par l'eau. Il est réalisé sur les mêmes classes granulaires utilisées pour Los Angeles. On place 500 g de granulats avec une charge abrasive de 2 à 5 kg d'acier de 10 mm de diamètre. Le cylindre tourne à 100 tours/mn pendant 2 heures, on récupère le passant P au tamis 1,6 mm puis séchage à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante.

Le coefficient Micro-Deval est : $MD = 100 P / 500$

Selon la norme NF P18-572 [24] le MD ne doit pas dépassé 35 %.

Les résultats obtenus sont :

- Gravier 3/8 : $MD = 20,8 \%$
- Gravier 8/15 : $MD = 23 \%$.

III.3.7. Essai de propreté [23] :

La propreté superficielle est définie comme étant le pourcentage pondéral de particules inférieure à 0,5 mm mélangées ou adhérentes à la surface des granulats supérieures à 2 mm. Ces particules sont séparées par lavage sur le tamis correspondant.

Selon la norme NFP 18-591 le pourcentage des impuretés ne doit pas dépasser 5%.

On trouve :

- Gravier 3/8 : 2,56 %
- Gravier 8/15 : 1,86 %.

III.3.8. Absorption d'eau [20] :

Cet essai est effectué conformément à la norme française P 18-555 [22]. Pour cela, un échantillon de sable est plongé dans l'eau pendant 24 heures à 20°C et à la pression atmosphérique normale. A l'issue des 24 heures, on effectue sa pesée. Puis on calcule l'augmentation de masse par rapport à sa masse sèche. Enfin on obtient le coefficient d'absorption d'eau en effectuant le rapport de l'augmentation de masse à la masse sèche initiale.

Pour nos granulats nous avons :

- Sable : 1,27 %
- Gravier 3/8 : 0,80 %
- Gravier 8/15 : 0,93 %.

III.4. METHODES D'ANALYSES ET D'ESSAIS :

III.4.1. Formulation du béton (Méthode de Faury) [24] :

La formulation d'un béton consiste à sélectionner de bons constituants, puis à optimiser leurs proportions afin d'obtenir, un mélange possédant deux qualités essentielles 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 de 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, ceci pour deux raisons principales :

- Cette méthode est applicable à tous les granulats, quelle que soit leurs masses volumiques,
- Elle est basée sur la loi de continuité des courbes granulométriques, donc lorsqu'on substitue un pourcentage de granulats naturels par un même pourcentage de déchet appartenant à la même fraction, on préserve au maximum possible l'allure et la continuité de ces courbes (avant substitution).

La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de $\sqrt[3]{d}$; c'est pourquoi Faury adopta une échelle des abscisses graduée en $\sqrt[3]{d}$. La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyen ($<D/2$) des gros grains ($>D/2$) et la pente de la droite de référence n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories.

On trace donc pour l'ensemble du mélange, ciment compris, une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites. L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixée à $D/2$ est sont ordonnée Y est donnée par une formules 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 qualité des granulats (roulés ou concassés), et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus au moins intense).

Cette valeur est donnée par la formule suivante :

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

A : constante, traduisant la maniabilité du béton,

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

D : dimension du plus grand tamis laissant passer tous les granulats,

R : rayon moyen du moule.

III.4.1.1. Détermination des différents coefficients [24] :

➤ Coefficient A

La valeur du paramètre A est égale à 28.5 pour une consistance moule et un serrage moyen.

➤ Coefficient D :

C'est la dimension du tamis qui laisse passer la totalité du granulat. $D = 20$ mm.

➤ **Coefficient B :**

Le coefficient B varie de 1 à 2 selon que le béton est ferme ou mou.

➤ **Coefficient R :**

L'effet de paroi est négligeable (R très grand).

➤ **Calcul de la valeur B/(R/D-0.75) :**

Dans notre cas, le béton est soigneusement serré (B faible), effet de paroi négligeable (R très grand) alors résultat est voisin de zéro.

➤ **Calcul de $Y_{D/2}$:**

$$Y_{D/2} = 28.5 + 17\sqrt[5]{20} + 0 = 59.5$$

On peut maintenant tracer la courbe optimale (Figure 3.5).

$$T_{opt} = A + 17\sqrt[5]{\frac{R}{D - 0.75}}$$

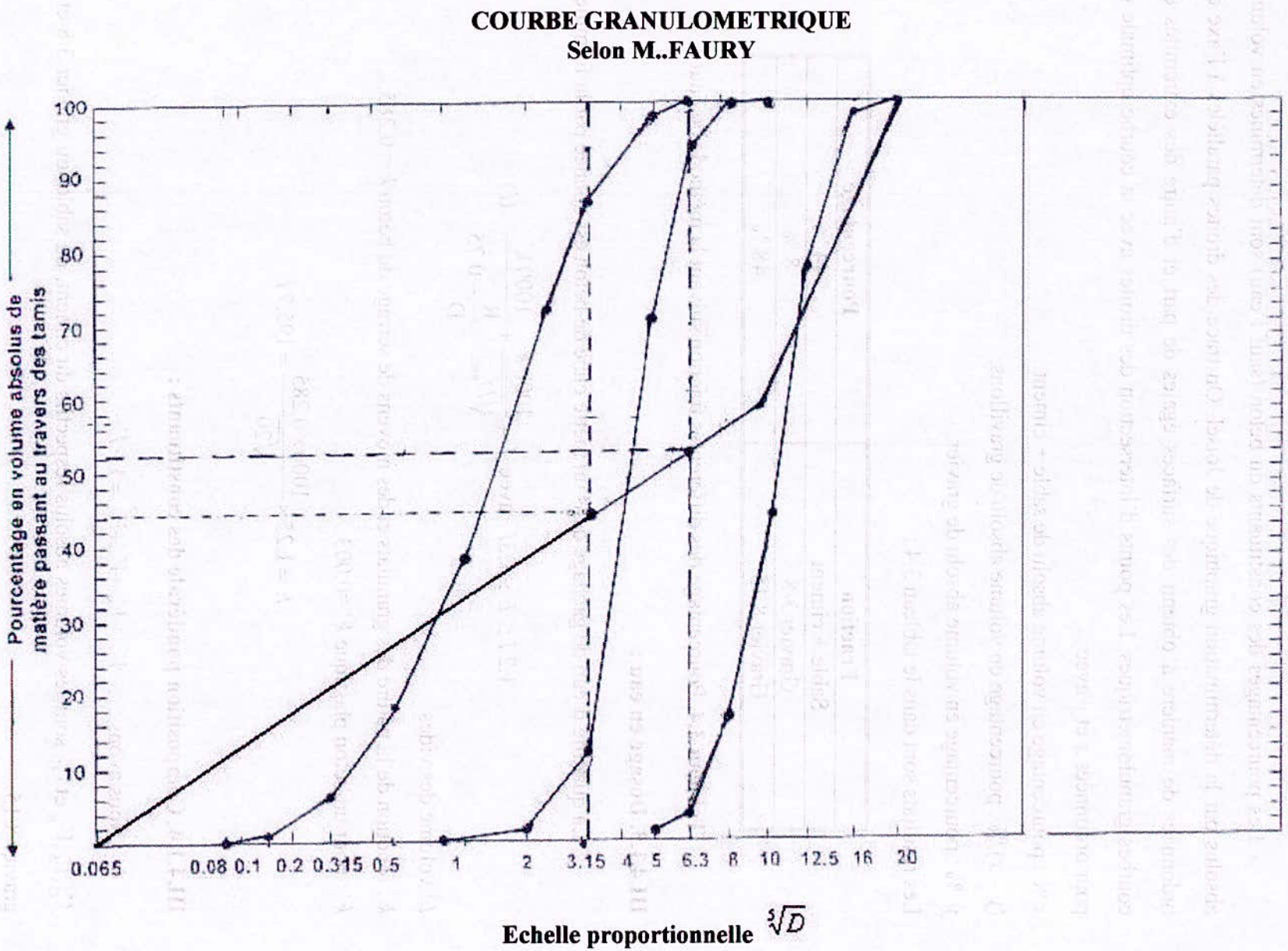


Figure 3.4. Courbe de référence FAURY

III.4.1.2. Détermination des pourcentages des agrégats :

Les pourcentages des constituants du béton (sauf l'eau) sont déterminés en volumes absolus par la détermination graphique de Joisel. On trace des droites parallèles à l'axe des ordonnées de manière à obtenir des surfaces égales de part et d'autre des extrémités des courbes granulométriques. Les points d'intersection des droites avec la courbe optimale ont pour ordonnées x et y avec :

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 dans le tableau 3.4 :

Fraction	Pourcentage
Sable + ciment	44 %
Gravier 3/8	8 %
Gravier 8/15	48 %

Tableau 3.4. Pourcentage des différentes fraction suivant la méthode de Faury

III.4.1.3. Dosage en eau :

La quantité d'eau de gâchage dans un mètre cube de béton est donnée par la formule :

$$1.2I \leq E \leq 1.3I \quad \text{avec} \quad I = \frac{1000k}{\sqrt[3]{D_{\max}}} + \frac{1000k'}{\frac{R}{D} - 0.75} \quad (I)$$

I : volume des vides

k : fonction de la nature des granulats et des moyens de serrage du béton $k = 0,285$.

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

$$E = 1.25 \times \frac{1000 \times 0.285}{\sqrt[3]{20}} = 195.7l$$

III.4.1.4. Composition pondérale des constituants :

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.

Figure 3.4. Courbe de référence FAURY

$$V_c + V_s = \frac{x}{100} \times (1 - E) = \frac{44}{100} \times (1 - 0.1957) = 0.3538 \text{ m}^3$$

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

$$V_s = \frac{x}{100} \times (1 - E) - V_c = \frac{44}{100} \times (1 - 0.1957) - 0.113 = 0.2409 \text{ m}^3$$

$$V_g = \frac{y-x}{100} \times (1 - E) = \frac{8}{100} \times (1 - 0.1957) = 0.06434 \text{ m}^3$$

$$V_G = \frac{100-y}{100} \times (1 - E) = \frac{48}{100} \times (1 - 0.1957) = 0.38606 \text{ m}^3$$

III.4.1.5. Calcul de la densité théorique :

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

$$V_c = 113 \text{ l} \Rightarrow P_c = \rho_c \times V_c = 3,1 \times 113 = 350 \text{ Kg}$$

$$V_s = 240.9 \text{ l} \Rightarrow P_s = \rho_s \times V_s = 2.67 \times 240.9 = 643.2 \text{ Kg}$$

$$V_g = 64.34 \text{ l} \Rightarrow P_g = \rho_g \times V_g = 2.65 \times 64.34 = 170.5 \text{ Kg}$$

$$V_G = 386.06 \text{ l} \Rightarrow P_G = \rho_G \times V_G = 2.62 \times 386.03 = 1011.5 \text{ Kg}$$

$$V_{\text{eau}} = 195.7 \text{ l} \Rightarrow P_{\text{eau}} = \rho_{\text{eau}} \times V_{\text{eau}} = 1 \times 195.7 = 195.7 \text{ Kg}$$

$$V_{\text{total}} = 1000 \text{ l}$$

$$P_{\text{total}} = 2370 \text{ Kg}$$

$$\text{Densité théorique du béton } \rho_{th} = 2370 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

III.4.2. Fabrication des éprouvettes :

Les éprouvettes utilisées dans notre étude sont des éprouvettes prismatiques de dimension (7×7×28) cm pour l'essai de traction par flexion et des éprouvettes cubiques de 10 cm de côté pour l'essai de compression simple.

III.4.2.1. Confectionnement et malaxage :

Le malaxage du béton se fait comme suit :

- Placer le sable, le liant (éventuellement l'ajout) et les graviers dans le malaxeur.
- Malaxer à sec pendant 5 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, après démoulage, elles sont conservées dans l'eau jusqu'au jour de l'essai.

III.4.3. 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.

L'ordre d'incorporation des différents matériaux est représenté sur la figure 3.6.

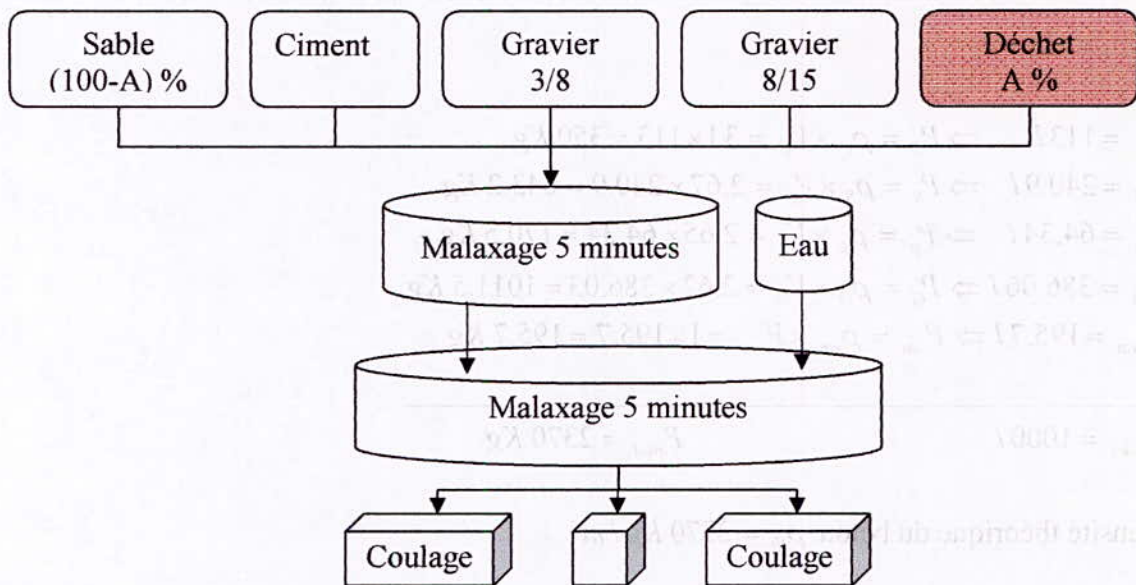


Figure 3.5. Procédé de traitement de déchet par un liant hydraulique

III.4.4. Modalité des essais :

III.4.4.1. Essai sur béton frais :

III.4.4.1.1. Mesure de la masse volumique du béton frais :

La mesure consiste à :

- Remplir un récipient d'un échantillon de volume V et 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)

III.4.4.1.2. La consistance du béton [25] :

La consistance est une grandeur qui sert à caractériser l'aptitude à la mise en œuvre d'un béton. Sa mesure, s'effectue avec différents dispositifs dont le 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.

III.4.4.2. Essai sur béton durci :

III.4.4.2.1. Détermination de la masse volumique du béton durci :

Avant de procéder aux essais mécaniques, 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.

III.4.4.3. Essais mécaniques :

III.4.4.3.1. Essai de compression :

L'essai s'effectue sur machine à compression conformément à la norme NF P 18-406 [26]. La résistance à la compression est déduite par la moyenne d'écrasement des trois éprouvettes cubiques de 10 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 : la charge de rupture,

a : le côté de l'éprouvette cubique,

σ_c : résistance à la compression.

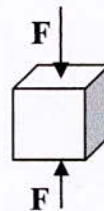


Figure 3.6. Essai de compression

III.4.4.3.2. 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 [27]. 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 : $\sigma_r = 1,8 \frac{P}{a^2}$ (MPa)

P : la charge de rupture,
 a : le côté de l'éprouvette prismatique ($a \cdot a \cdot 4a$).

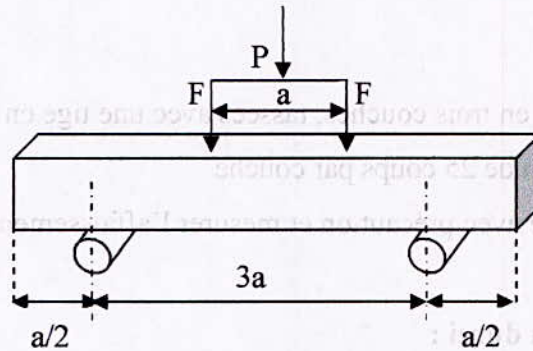


Figure 3.7. Essai de traction par flexion



Les essais effectués sur les granulats ont confirmé la bonne qualité de ces derniers, et leur conformité à l'élaboration du béton hydraulique.

L'objectif du prochain chapitre est d'exposer les résultats des essais relatifs au béton hydraulique frais et durci, suivis de quelques discussions et interprétations, en essayant de retrouver une destination possible pour les produit élaborés.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right, framing the chapter title.

Chapitre IV

Résultats et interprétations



Résultats et interprétations

Dans ce chapitre, nous allons présenter les différents résultats expérimentaux des essais effectués, en utilisant comme traitement de notre déchet le procédé de stabilisation/solidification par un liant hydraulique.

IV.1. ESSAIS SUR BETON FRAIS :

IV.1.1. Affaissement au cône d'Abrams :

Pour chaque composition nous avons mesuré l'affaissement au cône d'Abrams.

Il faut faire attention lors de l'incorporation de la quantité d'eau calculée, il faut l'introduire progressivement en vérifiant à chaque fois la consistance pour pouvoir la corriger.

Le tableau 4.1, donne les quantités d'eau réellement utilisées, ainsi que l'affaissement mesurer pour le béton.

Pourcentage de déchet	Quantité du déchet utilisé (Kg)	Quantité d'eau (l)	Affaissement mesuré (cm)	La valeur du rapport E/C
0%	0	2.8	4.5	0.56
		3.2	7.8	0.64
5%	0.675	3.2	6.3	0.64
10%	1.35	3.2	5.5	0.64
15%	2	3.2	5.1	0.64
20%	2.7	3.2	4	0.64
		3.7	5.6	0.78
25%	3.375	3.7	4.5	0.78
		4.1	5.2	0.88
30%	4.05	4.1	4.3	0.88
		4.7	5.5	0.94

Tableau 4.1. Mesure de l'affaissement et du rapport E/C pour chaque pourcentage de déchet

On remarque qu'il y a une augmentation du rapport E/C et une diminution de l'ouvrabilité avec l'augmentation du pourcentage de déchet incorporé. Le dosage en ciment étant gardé fixe, la quantité d'eau additionnée augmente avec le pourcentage incorporé. Ceci est dû à la présence d'éléments fins dans la composition de déchet.

IV.1.2. La masse volumique :

Les masses volumiques du béton frais à différents pourcentages de déchet sont représentées dans le tableau 4.2 :

Pourcentage de déchet	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Masse volumique (Kg/m ³)	2430	2330	2315	2290	2282	2275	2260

Tableau 4.2. La masse volumique du béton frais

La masse volumique du béton frais avec déchet et d'autant plus faible que le pourcentage de déchet incorporé est grande. Ceci est dû à une valeur assez faible de la masse volumique du déchet (2,4 g/cm³).

IV.2. ESSAIS SUR BETON DURCI :

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

- La masse volumique en (kg/m³)
- La résistance mécanique (à la compression et à la traction par flexion).

IV.2.1. La masse volumique du béton durci :

Les masses volumiques du béton durci à différents pourcentages de déchet sont représentées dans le tableau 4.3 :

Pourcentage de déchet	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
Masse volumique (Kg/m ³) à 7 jours	2440	2338	2320	2296	2286	2278	2270
Masse volumique (Kg/m ³) à 14 jours	2444	2342	2328	2300	2291	2285	2277
Masse volumique (Kg/m ³) à 28 jours	2450	2348	2331	2313	2299	2287	2282

Tableau 4.3. La masse volumique du béton durci

Comme pour le béton frais, La masse volumique du béton durci avec déchet et d'autant plus faible que le pourcentage de déchet incorporé est grand (Figure 4.1).

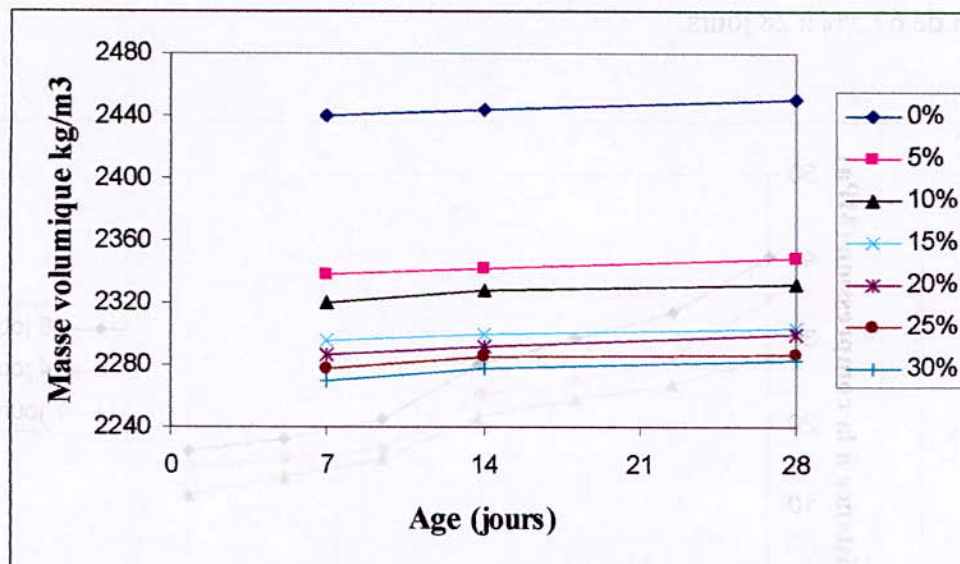


Figure 4.1. Evolution de la masse volumique du béton en fonction du pourcentage de déchet

IV.2.2. La résistance à la compression :

Cet essai est effectuée sur des éprouvettes de 10 cm de côté.

Nous avons choisi trois âges d'écrasement ; 7, 14 et 28 jours pour toutes les compositions, dont le but est de suivre l'évolution de la résistance à la compression et le comportement du béton contenant le déchet. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 4.4 et la figure 4.2 :

Pourcentage de déchet	Résistance à la compression (MPa)		
	7 jours	14 jours	28 jours
0 %	28	35	40
5 %	24.5	28	33.2
10 %	22.8	25	30
15 %	20.6	23.4	27
20 %	15.5	16.7	20.4
25 %	13.3	15.5	18
30 %	11.10	14.6	16.5

Tableau 4.4. La résistance à la compression du béton à 7, 14 et 28 jours

D'après le graphe ci-dessous (figure 4.2) on remarque que la résistance des différents bétons réalisés augmente avec l'âge des éprouvettes et de manière analogue que celle du béton ordinaire. On remarque aussi que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de déchet incorporé. On notera, aussi, que le pourcentage de 15% de déchet

incorporé, nous obtenons un taux de résistance par rapport au témoin de l'ordre de 73% à 7 jours et de 67.5% à 28 jours.

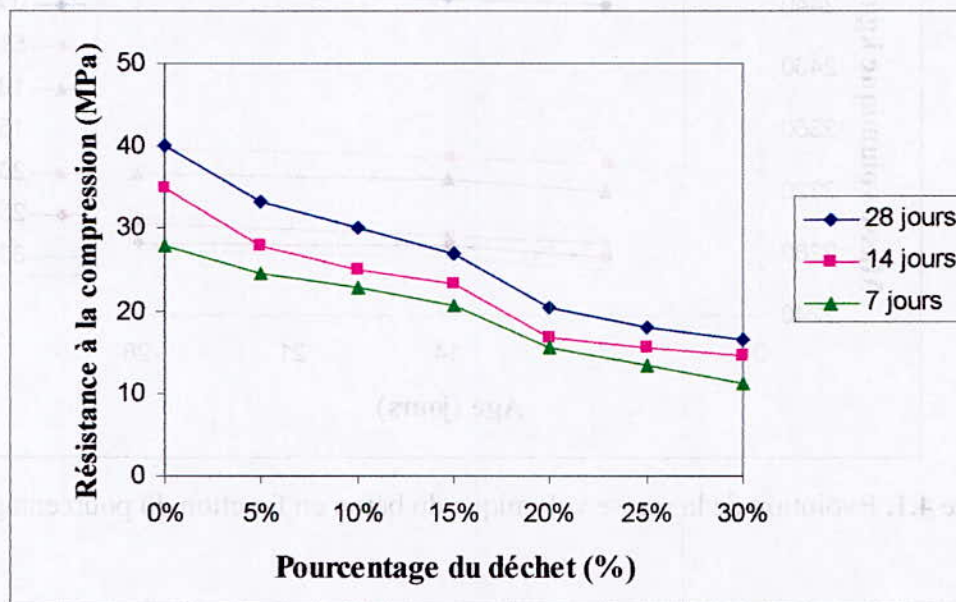


Figure 4.2. Evolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de déchet à 7, 14 et 28 jours

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

La résistance à la traction par flexion est mesuré sur éprouvettes prismatiques (7*7*28) cm.

Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau 4.5 et la figure 4.3 :

Pourcentage de déchet	Résistance à la traction par flexion (MPa)		
	7 jours	14 jours	28 jours
0 %	3.10	4.7	5.25
5 %	2.82	3.89	4.54
10 %	2.45	3.40	4.15
15 %	2.12	3.10	3.77
20 %	1.80	2.49	3.56
25 %	1.55	2.30	2.80
30 %	1.20	1.92	2.33

Tableau 4.5. La résistance à la traction par flexion du béton à 7, 14 et 28 jours

Comme la compression la résistance à la traction a augmenté régulièrement dans le temps.

On peut dire aussi que la résistance à la traction décroît en fonction du pourcentage du déchet incorporé dans la composition du béton.

La résistance à la traction obtenue pour 15% de déchet est de l'ordre de 68% à 7 jours et de 72% à 28 jours.

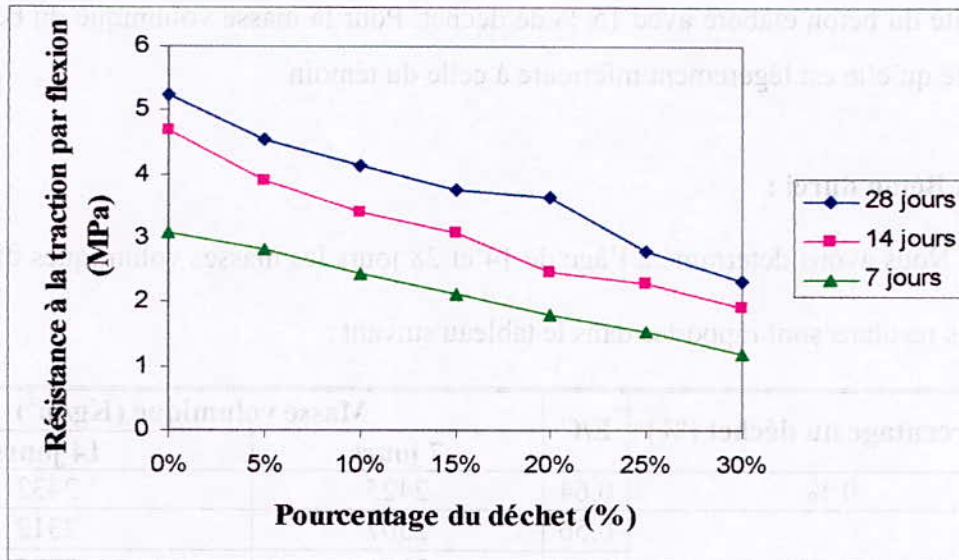


Figure 4.3. Evolution de la résistance à la traction par flexion en fonction du pourcentage de déchet à 7, 14 et 28 jours

Sur la base de ces résultats obtenus, nous pouvons ainsi retenir, comme pourcentage optimal de déchet à incorporer au mélange, la valeur de 15% par rapport à la quantité de sable entrant dans la composition.

IV.3. ETUDE DE L'INFLUENCE DU RAPPORT E/C :

Dans cette étape, et après avoir fixé le pourcentage du déchet à 15%, nous avons procédé à l'étude de l'effet du rapport E/C sur la résistance mécanique du béton élaboré.

Pour la réalisation de cette étape des éprouvettes cubiques de dimension (10*10*10) cm et prismatiques de (7*7*28) cm ont été confectionnées et destinées respectivement aux essais de compression et traction par flexion pour deux âges ; 7 et 14 jours.

IV.3.1. Béton frais :

L'affaissement au cône d'Abrams et la masse volumique du béton frais sont représentés dans le tableau 4.6 ci-dessous :

Pourcentage du déchet (%)	E/C	Affaissement (cm)	Masse volumique (Kg/m ³)
0 %	0.64	5.6	2420
15 %	0.56	3.4	2300
	0.70	6.2	2285
	0.90	liquide	2273

Tableau 4.6. L'ouvrabilité et la masse volumique du béton frais dosé à 15% de déchet

Les résultats du tableau 4.6 montrent l'effet du rapport E/C sur l'ouvrabilité et la masse volumique du béton frais élaboré, l'augmentation du rapport E/C, agit directement sur la plasticité du béton élaboré avec 15 % de déchet. Pour la masse volumique du béton frais, on constate qu'elle est légèrement inférieure à celle du témoin.

IV.3.2. Béton durci :

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

Pourcentage du déchet (%)	E/C	Masse volumique (Kg/m ³)	
		7 jours	14 jours
0 %	0.64	2425	2432
15 %	0.56	2307	2312
	0.70	2291	2293
	0.90	2280	2285

Tableau 4.7. La masse volumique du béton durci dosé à 15% de déchet

Comme pour le béton frais, le béton durci, élaboré avec 15% de déchet, possède une masse volumique légèrement inférieure à celle du béton de l'ordre de 6%.

IV.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 14 et 28 jours sur des éprouvettes cubique de 10 cm de côté conservées dans l'eau. Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau 4.6 :

Résistance à la compression (MPa)			
Pourcentage du déchet (%)	E/C	Age de l'écrasement (jours)	
		7	14
0 %	0.64	29.5	34.5
15 %	0.56	25	30
	0.70	20	23
	0.90	17	18.5

Tableau 4.8. La résistance à la compression en fonction du rapport E/C

On constate que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du rapport E/C, et avec un rapport E/C légèrement inférieure à celui adopté pour le témoin, la résistance mécanique du béton dosé à 15% de déchet atteint des taux de résistance, par rapport au témoin

de 85% à 7 jours et 87% à 14 jours. Mais avec un rapport E/C grand on remarque qu'il y a une chute de résistance de l'ordre de 43% à 7 jours et 46% à 14 jours. On peut penser que la quantité d'eau importante additionnée perturbe l'hydratation du ciment. Ceci pourrait expliquer la faiblesse de la résistance à la compression.

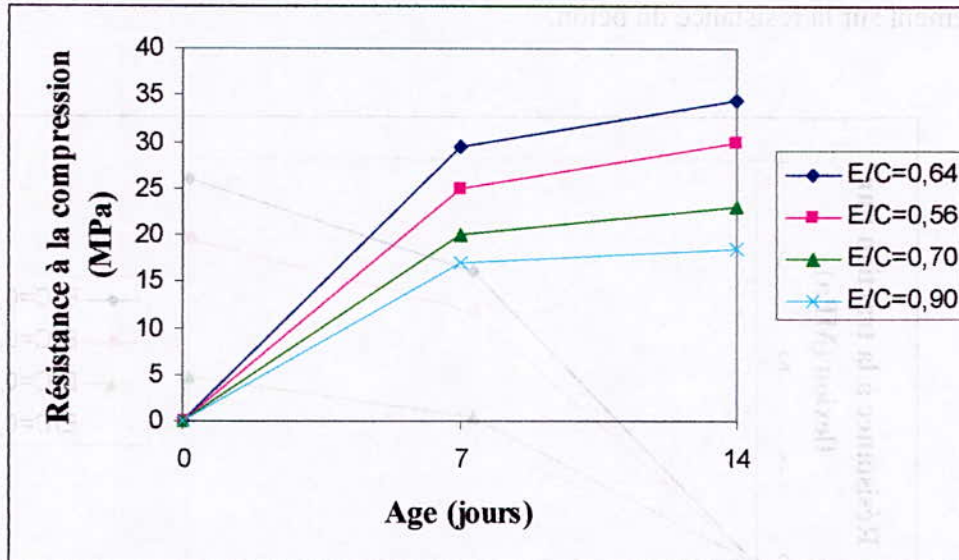


Figure 4.4. Evolution de la résistance à la compression du béton

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

La résistance à la flexion par traction 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 15% de déchet sont représentés dans le tableau 4.7 :

Résistance à la traction par flexion (MPa)			
Pourcentage du déchet (%)	E/C	Age de l'écrasement (jours)	
		7	14
0 %	0.64	2.90	3.8
	0.56	2.5	3.2
	0.70	1.44	1.85
	0.90	1.20	1.32

Tableau 4.9 La résistance à la traction par flexion en fonction du rapport E/C

La figure 4.5 illustre la variation de la résistance à la traction par flexion dans le temps pour chaque rapport E/C. Les résultats sont pratiquement similaires à ceux obtenus en compression.

D'après les résultats trouvés, on constate que la résistance à la traction par flexion évolue de la même façon que la résistance à la compression.

Ces phénomènes peuvent s'expliquer de la même manière que pour la compression du fait que la quantité d'eau importante additionnée perturbe l'hydratation du ciment.

La résistance à la traction par flexion du béton élaboré avec 15% de déchet diminue avec l'augmentation du rapport E/C. on conclut que l'augmentation du rapport E/C influe directement sur la résistance du béton.

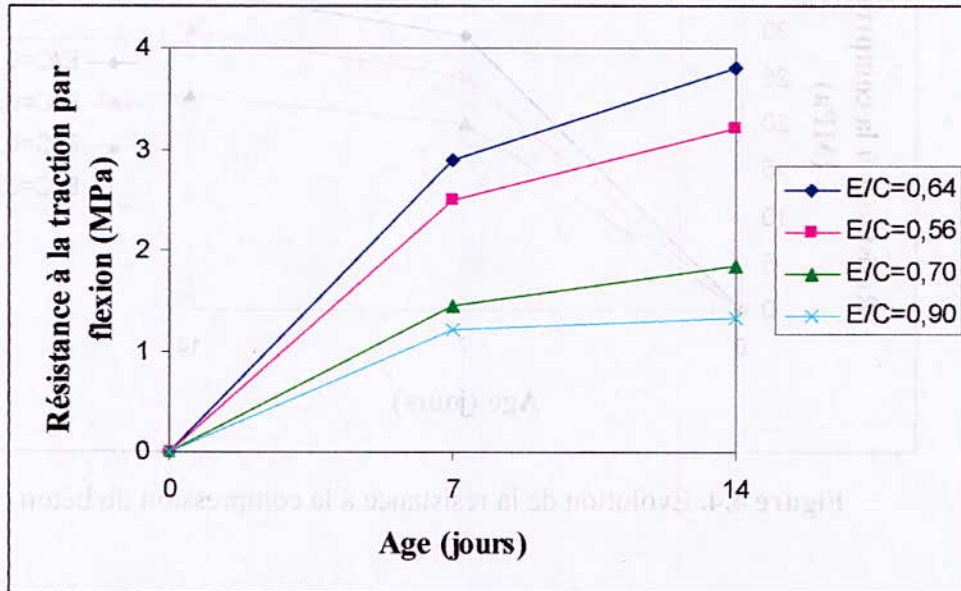


Figure 4.5. Evolution de la résistance à la traction par flexion du béton

IV.4. LES RESULTATS DE L'ESSAI DE LIXIVIATION [13] :

Par manque de moyen financier nous n'avons pas pu effectuer les essais de lixiviation. Cependant nous pouvons dire, au regard des essais déjà [13] sur un déchet similaire que les éléments toxiques qui se trouve dans la composition du déchet sont en pourcentage presque nuls, on peut dire alors que la stabilisation par un liant hydraulique pour ce déchet peut être considéré comme satisfaisante.

IV.5. FORMULATION DU BETON DESTINE AUX BORDURES DE TROTTOIR :

Les résultats encourageants obtenus ont permis d'envisager une valorisation du matériau élaboré en tant qu'élément secondaire de construction.

Nous nous sommes intéressées, en premier lieu, aux éléments utilisés dans la voirie urbaine comme les bordures de trottoir.

A partir de la formulation de bordure nous avons réalisé sur des moules de bordures de trottoir des échantillons dessinés à être testé par traction par flexion.

La bordure présente les dimensions suivantes :

- Largeur = 15 cm
- Hauteur = 25 cm
- Longueur = 70 cm.

Les résultats de l'essai de traction par flexion sont représentés dans la tableau 4.10 :

Type de bordure	Charge P (KN)	Moment (KN.m)	Contrainte σ (MPa)
Bordure témoin (0 % déchet)	75	13 .12	8 .41
Bordure 15 % déchet	50	8 .75	5.60

Tableau 4.10. La résistance à la traction par flexion de la bordure de trottoir

Le taux de résistance à la traction obtenu pour les bordures, par rapport au témoin, est acceptable. Ce taux de résistance obtenu est de l'ordre de 67% par rapport au témoin.

Ces derniers résultats sont plus qu'encourageants, puisque cet élément de voirie (bordures de trottoir) est classé (selon les normes françaises) en fonction de la résistance à la traction par flexion du béton constitutif.

Il est noter qu'en Algérie, ces éléments n'obéissent pas encore à des règles strict.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and rounded corners on the right, framing the text.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'environnement est un patrimoine précieux que chacun de nous doit protéger et préserver pour les générations futures. Cet objectif ne peut être atteint sans la participation de tous les secteurs. D'où notre étude qui va contribuer à la valorisation des déchets industriels issus de notre industrie (pétrolières), qui deviennent de plus en plus gênant, en raison de leur caractère polluant et toxique.

Cette étude consiste à introduire le déchet pétrolier dans l'élaboration d'un béton et de tester les performances de celui-ci, afin d'établir des formulations donnant des résistances mécaniques acceptables.

L'examen des différents résultats obtenus lors de la réalisation de ce travail ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- ❖ Pour le béton élaboré, la résistance à la compression, augmente d'une part avec l'âge et d'autre part avec la diminution de pourcentage de déchet incorporé. Avec 15% (valeur optimale) de déchet, nous obtenons un taux de résistance par rapport au témoin de l'ordre de 73% à 7 jours et 67.5% à 28 jours. Concernant le rapport E/C, et en gardant fixe le dosage en ciment, la quantité d'eau additionnée augmente avec le pourcentage de déchet, ceci est dû à la présence des éléments argileux dans la composition du déchet. Avec 15% de déchet le rapport E/C est de 0.64 est égale au celui obtenu pour le témoin sans déchet. Ces constatations restent valables pour la variation de la masse volumique qui est fonction du pourcentage de déchet et de la masse volumique de déchet (2.4g/m^3).

- ❖ Avec le pourcentage optimal déjà fixé à 15%, le béton frais élaboré est très influencé par la quantité d'eau ajoutée. Pour le béton durci, la résistance mécanique à la compression, et comme pour un béton ordinaire, augmente avec l'âge de l'éprouvette. Par rapport au témoin, on atteint des taux de résistance de l'ordre de 70% à 7 jours et 69% à 28 jours.
- ❖ Le traitement de notre déchet (boue de bac de stockage) avec un liant hydraulique (CPJ CEM II/A 32.5) à permis d'obtenir un matériaux solide et assez résistant, dont les éléments polluants ont été stabilisés dans la matrice ciment. Pour cela nous avons envisagé une valorisation du produit obtenu, en tant qu'élément de la construction. Il pourrait ainsi être employé dans la fabrication d'éléments secondaire tel que les bordures de trottoir. Le taux de résistance à la traction par flexion pour la bordure par exemple est de l'ordre de 67% par rapport au témoin. Ces résultats sont jugés satisfaisantes.
- ❖ En terme d'économie, et dans la mesure où on n'a pas à payer le savoir-faire des entreprises étrangères en devises, l'étude qui consiste à utiliser des matériaux sans valeurs économiques (déchets) et des méthodes de traitement qui font appel soit à l'utilisation des liants hydrauliques ou hydrocarbonés disponibles, et en exploitant des connaissances Algériennes, pour apporter des solutions nécessaires aux problèmes de l'environnement. L'étude dans ce sens est économique. Toutefois, et vu le manque des données nécessaires pour procéder à une étude technico-économiques nous envisagions sa réalisation en perspectives.

Pour des études ultérieures, nous recommandons :

- Utiliser des ajouts dans la composition du béton tel que le laitier d'EL-HADJAR, la fumée de silice et les cendres volantes afin d'améliorer les performances à long terme.
- Etudier le comportement à long terme du béton élaboré en réalisant des essais de fluage, retrait, mesure du module d'élasticité,.....
- Procéder à une étude technico-économique du projet dans le but de valider ce traitement par rapport aux traitements qui se font par les entreprises étrangères.
- Traiter les déchets avant de procéder à leurs utilisation par élimination ou en diminuant la présence des éléments polluants (organiques et minérales) dans ce dernier.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical line on the left side and rounded corners at the top and bottom. The text is centered within this border.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] **J.B.Leroy** : « Les déchets et leur traitement » Collection Que sais-je ? , Paris : Presses universitaires de France, 1981 révisé 1994.
- [2] **MICHEL.M** : « Valorisations des déchets et des sous-produits industriels », Ed, Massion, Paris (1981).
- [3] **BELHAMRI.R** et **BEN MESSOUDE.K**. « Contribution à l'étude de la pollution du site de forage Hassi-Messaoud ». Mémoire de fin d'étude, L'institut de Chimie Industrielle, USTHB (1998).
- [4] Technique de l'ingénieur, traité généralités et construction C9, A8660, C4260.
- [5] **AKLLA** : « Intégration des préoccupations environnementales dans le développement industriel ». La revue de l'environnement symboise. N°8, Jan-Fév, pp 15-18, (2000).
- [6] **A.NAVARRO** : « Gestion des déchets », Lamy environnement, Les déchets, LAMY, 1995.
- [7] **M.A.CHABOU** : « Etude de la valorisation du polyéthylène basse densité régénéré par recyclage mécanique ». Thèse de Magister en Génie de L'environnement, ENP 2000.
- [8] **JESSE.R CONNER.R** et **STEVE.L.HOEFFER**. « The history of stabilisation/solidification technology », critical reviews in environmental science and technology, pp 325-396, (1998).
- [9] **JESSE.R CONNER.R** et **STEVE.L.HOEFFER**. « The history of stabilisation/solidification technology », critical reviews in environmental science and technology, pp 397-462, (1998).
- [10] **SING.LENIERE, CHIRSTELLE**. « Etude des procédés de solidification/stabilisation des déchets poreux à base de liant hydraulique ou de liant bitumineux », Thèse de doctorat de l'institut des sciences appliquées de Lyon, (1998).
- [11] Agence Française de Normalisation. Déchet – Détermination du caractère solide massif. Normalisation Française. N° X 31-212. Paris : AFNOR, 1994.

- [12] **HADDI. Amine.** « Traitement de déchet par liant hydraulique et hydrocarboné », Mémoire de fin d'étude, ENP, 2002.
- [13] **BENOUMECHIARA. Nawel.** « Elaboration et caractérisation d'un matériaux à partir d'un déchet industriel », Thèse de Magister, ENP 2002.
- [14] **CHGNIOT.V et VALERY.L.** « Etude du traitement de déchet industriel », Mémoire de fin d'étude de laboratoire de Génie Civil et Urbanisme de Lyon, 1987.
- [15] **CHERIFI. Toufik.** « Contribution à l'étude de traitement et de la valorisation en Génie Civil d'un déchet pétrolier », Mémoire de fin d'étude, ENP 2004.
- [16] **Norme AFNOR X 31-211.** « Déchet : essai de lessivage d'un déchet solide initialement massif ou généré par un procédé de solidification », Août 1994.
- [17] Fiche technique du ciment CPJ CEM II/A 32.5.
- [18] **Norme Française :** « Granulats – analyse granulométrique par tamisage », AFNOR, Paris, Septembre 1990.
- [19] **Norme Française :** « Granulats – Equivalent de sable », AFNOR, Paris, Septembre 1998.
- [20] **Norme Française :** « Mesure des masses volumiques, coefficients d'absorption », AFNOR, Paris, décembre 1990.
- [21] **Norme Française :** « Granulats – Essai Los Angeles », AFNOR, Paris, septembre 1990.
- [22] **Norme Française :** « Granulats – Essai d'usure Micro-Deval », AFNOR, Paris, septembre 1990.
- [23] **Norme Française :** « Granulats – Détermination de la propreté superficielle », AFNOR, Paris, septembre 1990.
- [24] **G. DREUX, et J. FESTA :** « Nouveau guide du Béton et de ses constituants », Eyrolles Huitième édition, Paris 1998.
- [25] **Norme Française :** « Béton – essais d'affaissement », AFNOR, Paris 1981.
- [26] **Norme Française :** « Béton – essais de compression », AFNOR, Paris 1981.
- [27] **Norme Française :** « Béton – essais de flexion », AFNOR, Paris 1981.
- [28] **Norme AFNOR ; NFP 98-302.** « Pavés et bordures de trottoirs ».



Annexes

Annexe I

Les tests réglementaires d'admission d'un déchet ultime en centre de stockage sont désignés dans les annexes I des arrêtés du 18 Avril 1994, relatifs au stockage de certains déchets industriels spéciaux ultimes et stabilisés pour les installation existantes et nouvelles, dans les termes suivants :

« ADMISSION DES DECHETS INDUSTRIELS SPECIAUX

Déchets admissibles – Test de potentiel polluant

Déchets solides initialement massifs ou générés par un procédé de solidification : Dans le cas de déchets solides initialement massifs ou générés par un procédé de solidification, le test à appliquer, dans l'attente de la publication d'une ou de plusieurs normes spécifiques, est le protocole provisoire d'évaluation des déchets massifs et solidifiés disponible sur simple demande auprès du ministère de l'environnement (direction de la prévention des pollutions et des risques, service de l'environnement industriel). Ce test comprend, préalablement au test au test de potentiel polluant, un test préliminaire de présélection des déchets massifs ou solidifiés et des tests de vérification de l'intégrité et de la pérennité de la structure physique. Ces derniers comportent en particulier des essais de résistance mécanique dans le cas où le matériau peut être amené à l'état d'éprouvettes répondant aux spécifications des normes relatives à ce type d'essai. Dans le cas contraire, ils comportent des essais d'érosion sur les matériaux granulaires.

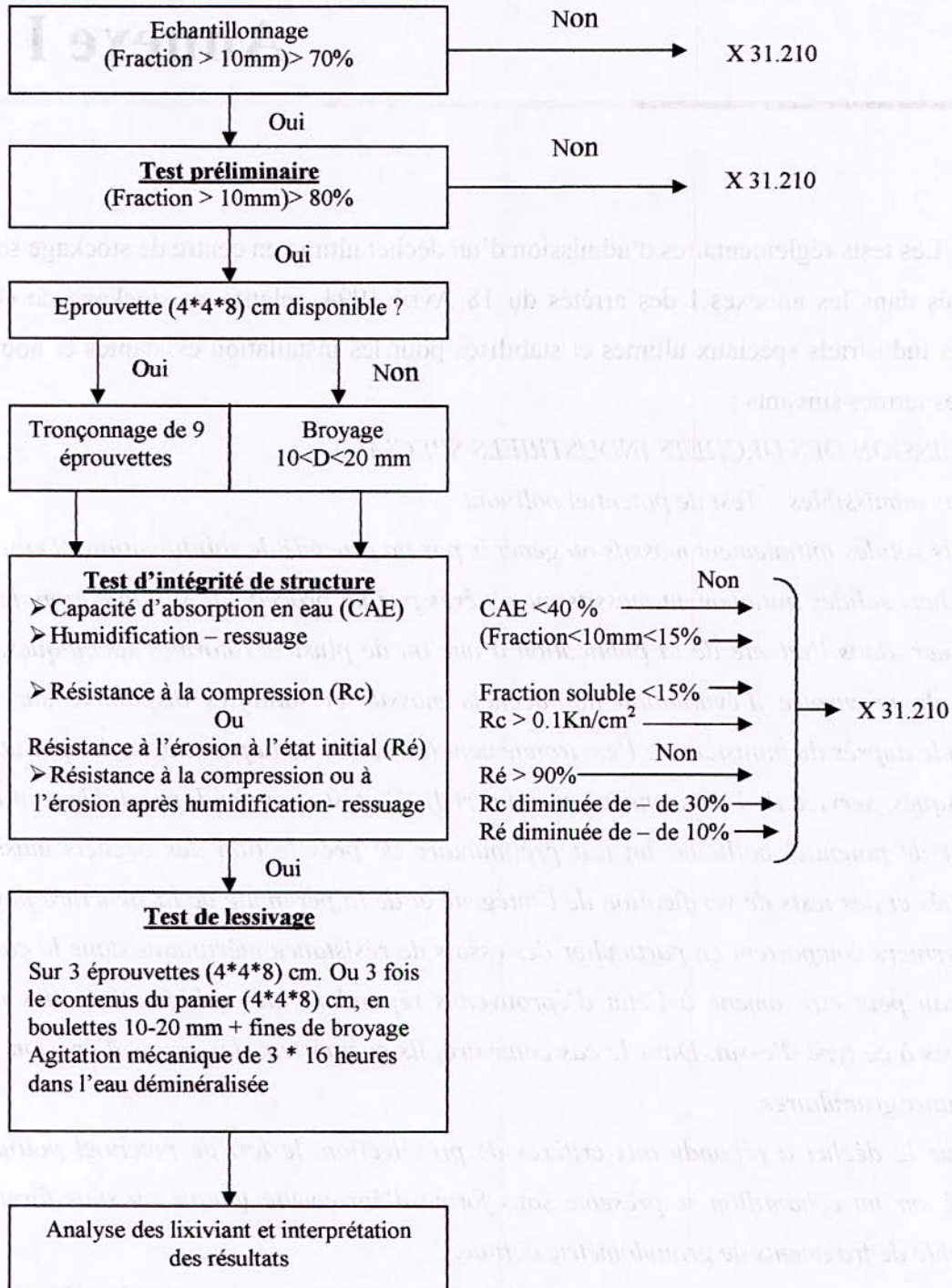
Lorsque le déchet a répondu aux critères de présélection, le test de potentiel polluant est réalisé sur un échantillon se présente sous forme d'éprouvette unique ou sous forme d'un ensemble de fragments de granulométrie définie.

Il comporte trois lixiviations successives réalisées de manière similaire à celle définie dans la norme NF X 31.210.

Chaque lixiviant est analysé et le résultat global est exprimé en fonction des modalités de calcul proposées dans l'annexe de la norme précitée.

Les résultats obtenus sur chaque lixiviant sont consignés et conservés en mémoire, y compris pour la fraction soluble.

Les valeurs limites fixées au 1.2 de cette annexe s'appliquent au résultat global. »



Les critères d'admission sur les lixiviants sont mentionnés au 2.1 des annexes I des arrêtés du 18 Avril 1994.

Les normes spécifiques citées dans les annexes I des arrêtés du 18 Avril 1994 destinées à remplacer le protocole ci-dessus résumé sont maintenant publiées. Il s'agit des normes NF X 31.212 – détermination du caractère solide massif et NF X 31.211 – Essai de lessivage d'un déchet solide initialement massif ou généré par un procédé de solidification.

Depuis la publication de ces normes, aucun texte réglementaire n'est paru pour imposer leur respect et notamment préciser les valeurs seuils correspondant aux nouveaux critères d'évaluation.

Annexe II



Figure 1. Aspect de la boue à l'état naturel

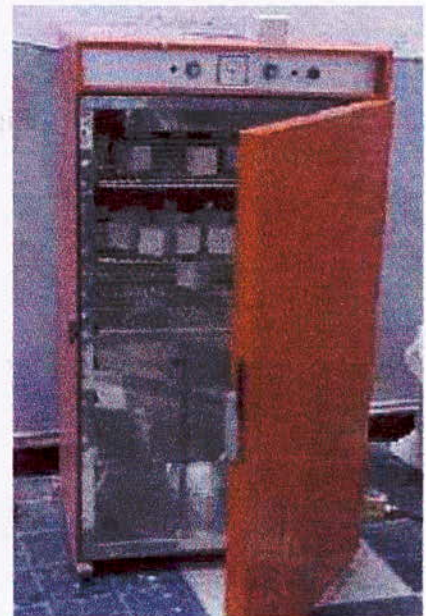


Figure 2. Etuve



Figure 3. Aiguille vibrante



Figure 4. Pycnomètre



Figure 5. Affaissement au cône d'Abrams



Figure 6 Machine de compression



Figure 7. Machine de traction par flexion

Figure 4. Pylonnage

Figure 3. Arrière vibrante