

Dr. DJAFARI Driss est un enseignant-chercheur algérien.

Il a obtenu son Baccalauréat Science en 1987 au Lycée El achâari Béchar, sa Licence d'enseignement technique en Génie Civil à l'Ecole Nationale Polytechnique d'Oran (ex-ENSET) en juin 1991, son Magister en Génie Civil, option : Construction en Juin 2006 au C.U. de Béchar, son Doctorat E-Sciences en Génie civil à l'ENP-Oran en avril 2019. Son Habilitation à Diriger des Recherches (HDR) en juin 2021. Il a enseigné aux Lycées Abadla, Kénadsa et Polyvalent dans la wilaya de Béchar de septembre 1991 à juin 2007 et à l'Université Ahmed Draïa d'Adrar de décembre 2007 jusqu'à nos jours. Ses recherches portent sur la Rhéologie des matériaux, le traitement et valorisation des déchets solides et la valorisation des matériaux locaux.



Résumé:

Ce livre pédagogique est destiné aux étudiants en deuxième année de Master en génie civil, option « Matériaux en génie civil », et suit le programme établi par le Comité Pédagogique National Algérien. Il se divise en quatre chapitres, chacun abordant des aspects fondamentaux liés à la gestion des matériaux et des déchets dans le domaine du génie civil. Le premier chapitre présente les notions élémentaires de la gestion des déchets, en définissant les principes et terminologies de base. Le second chapitre traite de l'évaluation des impacts environnementaux, notamment à travers l'Analyse du Cycle de Vie (ACV), une méthode qui permet d'étudier les impacts environnementaux d'un produit, de sa création à sa fin de vie, que ce soit un bâtiment, une chaussée ou tout autre produit. Le troisième chapitre, considéré comme le cœur du livre, explore le concept du recyclage. Il met l'accent sur l'utilisation de matériaux alternatifs, la gestion des gisements de déchets, ainsi que le recyclage des matériaux issus de la construction, de la déconstruction et de la réhabilitation, particulièrement dans le béton et l'industrie du ciment. Enfin, le dernier chapitre se concentre sur la valorisation des déchets tels que les boues des stations d'épuration, les sédiments de dragage et curage, ainsi que les cendres volantes, offrant ainsi des solutions pour intégrer ces sous-produits dans des processus industriels durables.

MATERIAUX Recyclés



Auteur:

Dr. DJAFARI Driss

Université Ahmed DRAIA -Adrar-



دار الجامعيين
للنشر و الطبع و التوزيع



9789969538564

ISBN رقمك

978-9969-538-56-4

Edition 2024

MATERIAUX RECYCLÉS

Auteur :

Dr DJAFARI Driss

Maître de conférences « A »

Introduction

Le présent livre pédagogique, est destiné aux étudiants de la deuxième année **Master en génie civil**, option: « **Matériaux en génie civil** ». Il est rédigé conformément au programme du **Comité Pédagogique National Algérien**.

Ce livre est divisé en quatre chapitres. **Le premier chapitre** est consacré aux notions élémentaires sur la gestion des déchets (principes et terminologies).

Le deuxième chapitre est consacré à l'évaluation des impacts environnementaux. Il aidera l'étudiant à se familiariser avec l'Analyse de Cycle de Vie d'un produit (bâtiment, chaussée, produit alimentaire, ... etc) et qu'il s'agit d'une analyse chronologique du produit durant toute ses étapes de vie c.-à-d. du berceau jusqu'à la tombe.

Le troisième chapitre touche le cœur de ce livre. On parle ici de l'art de « Recyclage ». Les matériaux alternatifs (gisement et leur gestion), les déchets issus des constructions, déconstructions et réhabilitations et leurs recyclages dans le béton ou dans l'industrie cimentiers font l'objet de ce chapitre.

Le dernier chapitre est consacré à la valorisation des déchets tels que les boues de STEP, les sédiments de dragage et curage, les cendres volantes.

Table des matières

Chapitre I : Gestion des déchets	7
I.1 Introduction	7
I.2 Définition des déchets	7
I.2.1 Classification des déchets.....	8
I.2.2 Typologie de déchets.....	9
I.3 Générateur de déchets	13
I.4 Détenteur des déchets	13
I.5 Gestion des déchets	13
I.5.1 Terminologie de la gestion des déchets.....	13
I.5.2 Flux des déchets	14
I.6 Coût dans la gestion des déchets	19
Chapitre II : Evaluation des impacts environnementaux	20
II.1 Les difficultés de prise de décisions.....	20
II.2 Analyse de cycle de vie et développement durable.....	20
1. Exemple d'une ACV d'un produit (bouteilles d'eau minérale)	21
2. Exemple d'une ACV d'un ouvrage	21
II.3 Sous-produits de l'industrie et leurs valorisation dans le génie civil	24
II.3.1 Introduction	24
II.3.2 Laitiers de haut fourneau (LHF).....	25
II.3.3 Laitier d'aciérie (scorie d'aciérie)	27
II.3.4 Préparation des laitiers pour la valorisation en génie civil.....	30
II.3.5 Cendres volantes :	32
Chapitre III : Recyclage	33
III.1 Le recyclage, définition et enjeux	33
III.2 Matériaux alternatifs ; gisement et gestion.....	33
III.2.1 Définition d'un matériau alternatif.....	33
III.2.2 Gisement et gestion des matériaux alternatifs	33

III.2.3	Prescriptions du guide d'applications relatives aux matériaux de déconstruction du BTP	33
III.3	Recyclage du béton	36
III.3.1	Granulats de béton recyclé (GBR)	37
III.4	Recyclage de l'industrie cimentaire	37
III.5	Recyclage dans le domaine des chaussées	38
III.5.1	Catégories des modes de recyclage des chaussées	38
III.5.2	Classification des retraitements	39
	Chapitre IV : Valorisation des déchets.....	40
IV.1	Valorisation des boues de stations d'épuration	40
IV.1.1	Filières de valorisation des boues de STEP.....	40
IV.2	Valorisation des boues de dragage/curage (sédiments).....	43
IV.2.1	Valorisation des sédiments et le développement durable.....	43
IV.2.2	Traitement des sédiments de dragage.....	44
IV.2.3	Quelques filières de valorisation de la vase de dragage	44
IV.2.4	Filières de valorisation des sédiments	48
	Bibliographie	49

Liste des figures

Figure I-1: Gisement de déchets des ménagers et assimilés.	9
Figure I-2: Déchets encombrants	10
Figure I-3: Déchets agricoles	10
Figure I-4: Déchets agroalimentaires	10
Figure I-5: Déchets industriels spéciaux	11
Figure I-6: Déchets industriels spéciaux	12
Figure I-7: Collecte de déchets	14
Figure I-8: Tri de déchets :(A) en amont, (B) au centre de tri	15
Figure I-9: Transports de déchets	15
Figure I-10: Synthétique des flux de gestion des déchets	17
Figure I-11: Stockage de déchets dangereux	18
Figure I-12: Stockage de déchets ultime (non dangereux)	18
Figure I-13: Stockage de déchets inertes (déchets de BTP)	18
Figure II-1: LHF cristallisé et vitrifié	26
Figure II-2: Processus de production des laitiers granulés	29
Figure II-3: Processus de production du laitier bouleté	29
Figure II-4: Fabrication du laitier expansé	29
Figure II-2: Usages routiers type 1	35
Figure II-2: Usages routiers type 2	35
Figure II-2: Usage routiers type 3	36
Figure III-4: Granulats de béton recyclé	37
Figure III-5: Sable de béton recyclé	37
Figure IV-1: Production des biogaz par méthanisation au digesteur	41
Figure IV-2: Incinérateur	42
Figure IV-3: Compostage des boues d'épuration	42
Figure IV-4: Sédiments de dragage	47
Figure IV-5: Boues de curage	47

Liste des tableaux

Tableau II-1	Caractéristiques des laitiers cristallisés	26
Tableau II-2	Composition minéralogique des laitiers cristallisés	26
Tableau II-3	Principales caractéristiques physiques des laitiers d'aciéries	27

Chapitre I : **Gestion des déchets**

I.1 Introduction

La production de déchets ne cesse d'augmenter suite à la croissance démographique et le développement économique.

Dans cette optique, la protection de l'environnement est devenue une préoccupation collective. La question des déchets est quotidienne et touche chaque individu tant sur le plan professionnel que familial. En tant que consommateur, jeteur, usager du ramassage des ordures ménagères, et trieur de déchets recyclables, citoyen ou contribuable, chacun peut et doit être acteur d'une meilleure gestion des déchets.

En entend par gestion de déchets, leur réutilisation comme matière première, leur mise en décharge contrôlée, ainsi que les opérations préliminaires d'enlèvement, acheminement, stockage intermédiaire et traitement.

I.2 Définition des déchets

Le terme déchet peut faire l'objet de nombreuses définitions, et il est souvent utilisé avec des significations différentes.

Dans son rapport de 1974, le groupe GEERS (Groupe d'études sur l'élimination des résidus solides) a admis que le vocale « déchets » on désignait généralement « l'ensemble des biens, matériaux et éléments qui ne possèdent ni valeur marchande, ni état suffisant pour une valorisation éventuelle, compte tenu, soit des connaissances technologique, soit des données économiques du moment ».

Les déchets sont définis sur le code de l'environnement sous l'article N°3 du chapitre 1 de la loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, a bien défini le cadre général des déchets. Au sens de la présente loi 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 et qui sont de nature à produire des effets nocifs sur le sol, la flore et la faune, à dégrader les sites ou les paysages, à polluer l'air ou les eaux, à engendrer des bruits ou des odeurs, et d'une façon générale, à porter atteinte à la santé de l'homme et à l'environnement ».

Autres définitions en matière de gestion :

- ✓ Définition économique : « Un déchet est défini comme étant un objet ou une matière dont la valeur économique est nulle ou négative, pour son détenteur, à un moment et dans un lieu donné. Pour s'en débarrasser, le détenteur devra payer quelqu'un ou faire lui même le travail (contrairement à un bien qui a une valeur économique positive et donc un acquéreur pour lequel on doit payer un prix).
- ✓ Définition juridique : « Un bien devient un déchet lorsque son propriétaire a la volonté de s'en débarrasser. Il demeure lui appartenir tant qu'il n'a pas quitté la propriété de cette personne ou l'espace qu'elle loue. Ce bien devient une propriété de la municipalité lorsqu'il est déposé sur la voie publique ou dans une poubelle, car par cet acte son propriétaire peut avoir clairement signifié sa volonté d'en abandonner tout droit de propriété. Selon la conception objective, un déchet est un bien dont la gestion doit être contrôlée au profit de la protection de la santé publique et de l'environnement, indépendamment de la volonté du propriétaire et de la valeur économique du bien : les biens recyclables qui sont des matières premières secondaires entrent dans cette définition objective.

I.2.1 Classification des déchets

Classification selon leur source :

- Déchets de production industriels ;
- Déchets ménagers ;
- Déchets hospitaliers ;
- Déchets agricoles ;
- Déchets des mines ;
- Déchets de construction ;
- Boues d'épuration ;
- Déblais, etc ...

Le but d'une classification peut être :

1. D'ordre technique, afin de mieux maîtriser les problèmes de transport, de stockage intermédiaire, de traitement, d'élimination finale ;

2. D'ordre financier, selon l'application du principe pollueur – payeur ; tri entre les communes et les entreprises qui en a assuré le financement ;
3. D'ordre légal, afin de cerner les responsabilités causales relatives à des questions de sécurité des populations ou de protection de l'environnement.

I.2.2 Typologie de déchets

I.2.2.1 Déchets ménagers et assimilés (MA)

Les déchets ménagers correspondent à ceux produits par l'activité domestique des ménages. Les déchets assimilés sont issus des commerces, de l'artisanat, des bureaux et des industries. Ils sont collectés par les municipalités. (Figure I-1)



Figure I-1: Gisement de déchets des ménagers et assimilés.

I.2.2.2 Déchets encombrants

Tout déchets issue des ménages qui en raison de leurs caractères volumineux ne peuvent être collectés dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés. (Figure I-2)

I.2.2.3 Déchets agricoles et d'activités agricoles

Ils correspondent aux déchets de l'élevage, des cultures et de l'industrie agroalimentaire. (Figure I-3)



Figure I-2: Déchets encombrants



Figure I-3: Déchets agricoles



Figure I-4: Déchets agroalimentaires

1.2.2.4 Déchets industriels

A. Déchets industriels spéciaux (DIS)

Tout déchets issue des activités industrielles, agricoles, huiles usagés, déchets de soins, de services et toutes autres activités qui en raison de leurs natures et de la composition des matières qu'ils contiennent ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés et les déchets inertes. (Figure I-5)



Figure I-5: Déchets industriels spéciaux

1.2.2.5 Déchets inertes (I)

Les déchets inertes sont les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Les déchets inertes ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune autre réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradables et ne détériorent pas d'autres matières avec lesquelles ils entrent en contact, d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. La production totale de lixiviats et la teneur des déchets en polluants ainsi que l'écotoxicité des lixiviats doivent être négligeables et, en particulier, ne doivent pas porter atteinte à la qualité des eaux de surface ou des eaux souterraines. (Figure I-6)

Depuis le 1^{er} décembre 2006, les déchets inertes sont considérés comme étant les déchets qui :

- Sont constitués pour la presque totalité de terres et de roches naturelles résultant de leur extraction lors des travaux de construction et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs potentiels de nuisances ;
- Résultent de travaux routiers et qui sont de nature minérale avec ou sans liants hydrauliques, bitumeux à base de goudrons ;
- Proviennent de chantiers de construction, de rénovation ou de démolition, qui sont principalement de nature minérale et qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs potentiels de nuisances.



Figure I-6: Déchets industriels spéciaux

I.3 Générateur de déchets

Toute personne physique ou morale dont l'activité génère des déchets.

I.4 Détenteur des déchets

Toute personne physique ou morale qui détient des déchets.

I.5 Gestion des déchets

Toute opération relative à la collecte, au tri, au transport, au stockage intermédiaire, à la réutilisation et à la valorisation et à l'élimination des déchets, y compris le contrôle de ces opérations.

I.5.1 Terminologie de la gestion des déchets

1.5.1.1 La récupération

C'est la séparation de certains produits ou matériaux à des déchets bruts à des fins de réemploi, de réutilisation et de recyclage.

1.5.1.2 Récupérer un déchet

Il s'agit de le sortir de son circuit traditionnel de collecte et de traitement, par exemple, mettre des bouteilles ou des journaux dans un conteneur spécial au lieu de les jeter à la poubelle. La récupération, qui suppose une collecte séparée ou un tri, se situe en amont de la valorisation ; qui consiste, d'une certaine façon, à redonner une valeur marchande à ces déchets.

1.5.1.3 Le recyclage

C'est la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière première neuve. Dans le recyclage, le but principal est d'utiliser le déchet et non d'éliminer son potentiel de contamination.

1.5.1.4 Le réemploi

C'est un nouvel emploi d'un déchet pour un usage analogue à celui de sa première utilisation. C'est quelque sorte, prolonger la durée de vie du produit avant qu'il ne devienne un déchet.

1.5.1.5 La réutilisation

Consiste à utiliser un déchet pour usage différent de son premier emploi, ou faire, à partir d'un déchet, un autre produit que celui qui lui donné naissance.

1.5.1.6 La régénération

Consiste en un procédé physique ou chimique qui redonne à un déchet les caractéristiques permettant de l'utiliser en remplacement d'une matière première neuve.

1.5.1.7 Le taux de récupération

C'est un indicateur (exprimé en %) qui mesure le pourcentage d'un déchet récupéré au moyen de collectes sélectives par rapport au gisement total de ce déchet.

1.5.1.8 La valorisation

Consiste en tout traitement des déchets qui permet de leur trouver une utilisation ayant une valeur économique positive (valeur marchande).

I.5.2 Flux des déchets

1.5.2.1 Collecte des déchets

Le ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de leur transfert vers un lieu de traitement. (Figure I - 7).

La collecte sélective est une collecte de certains flux de déchets (recyclables, secs et fermentescibles), préalablement séparés par les producteurs, en vue d'une valorisation ou d'un traitement spécifique. La collecte sélective s'applique autant aux déchets ménagers qu'aux déchets industriels.



Figure I-7: Collecte de déchets

1.5.2.2 Tri des déchets

Toutes les opérations de séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement. (Figure I-8)



(A)



(B)

Figure I-8: Tri de déchets : (A) en amont, (B) au centre de tri

1.5.2.3 Transport

Regroupe l'ensemble des opérations de chargement, d'acheminement et de déchargement des déchets sur le lieu de prétraitement, de traitement, de valorisation, d'élimination ou d'enfouissement. Plusieurs obligations réglementaires régissent le transport de déchets. Dans la mesure du possible, les moyens utilisés pour le transport doivent être réservés à cet effet et être différents pour chaque catégorie de déchets. (Figure I-9)



Figure I-9: Transports de déchets

1.5.2.4 Stockage

Il existe trois classes de décharges (également appelé CET : Centre d'Enfouissement Technique et CSD : Centre de Stockage de Déchets)

Les décharges de classe 1 : accueillent principalement les "déchets industriels spéciaux", présentant un caractère dangereux reconnu pour le milieu naturel ou les êtres vivants. Elles sont également appelées Centres de Stockage de Déchets Dangereux (CSDD). Avant d'être enfouis, les déchets sont "stabilisés" par extraction, notamment, des liquides dangereux pour limiter les réactions chimiques dans la fosse. (Figure I-11)

Les décharges de classe 2 : accueillent les déchets ménagers et assimilés (DMA), ainsi que les déchets industriels banals (DIB). Elles sont également appelées Installation de Stockage de Déchets non Dangereux (ISDND) et Centre de Stockage de Déchets Ultimes (CSDU). Il est interdit d'enfouir autre chose dans ces décharges que du déchet ultime, un déchet « qui n'est plus susceptible d'être traité dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux ». (Figure I-12)

Les décharges de classe 3 : accueillent principalement des déchets du bâtiment et des travaux publics (terres, gravats, déchets de démolition, etc). (Figure I-13)

1.5.2.5 Traitement des déchets

L'objectif du traitement (toute modification physique, chimique ou biologique apportée aux déchets) est de transformer des déchets en des produits susceptibles de retrouver sans inconvénients dans le milieu naturel ou de trouver une utilisation.

On peut aussi définir le traitement des déchets comme l'ensemble de procédés visant à réduire dans des conditions contrôlées le potentiel polluant initial, leur quantité ou leur volume et à en favoriser les valorisations.

Toute mesure pratique permettant d'assurer que les déchets sont valorisés, stockés et éliminés d'une manière garantissant la protection de la santé publique et /ou de l'environnement contre les effets nuisibles que peuvent avoir ces déchets.

➤ Procédés de traitement des déchets

A. Procédés physico-chimique

Elimination de la toxicité par des réactions de neutralisation ou d'oxydoréduction.

B. Traitement énergétique (incinération)

Comme combustible d'appoint dans les centrales thermiques. Ce mode de traitement est le plus ancien pour réduire voire éliminé les déchets.

C. Traitement biologique

Le compostage est un processus biologique aérobie permet la conversion de la matière organique en un produit stabilisé, hygiénique, riche en composés humiques et minéraux. Le traitement biologique nourrit le sol et les plantes, fertilise la terre et remplace la tourbe.

D. Mise en décharge

La décharge est un lieu de stockage ultime de déchets. Les centres d'enfouissement technique (CET) et les centres de stockage de déchets (CSD) sont devenus des sites industriels qui utilisent des technologies modernes.

La figure I-10 rassemble les différentes étapes d'un flux des déchets.

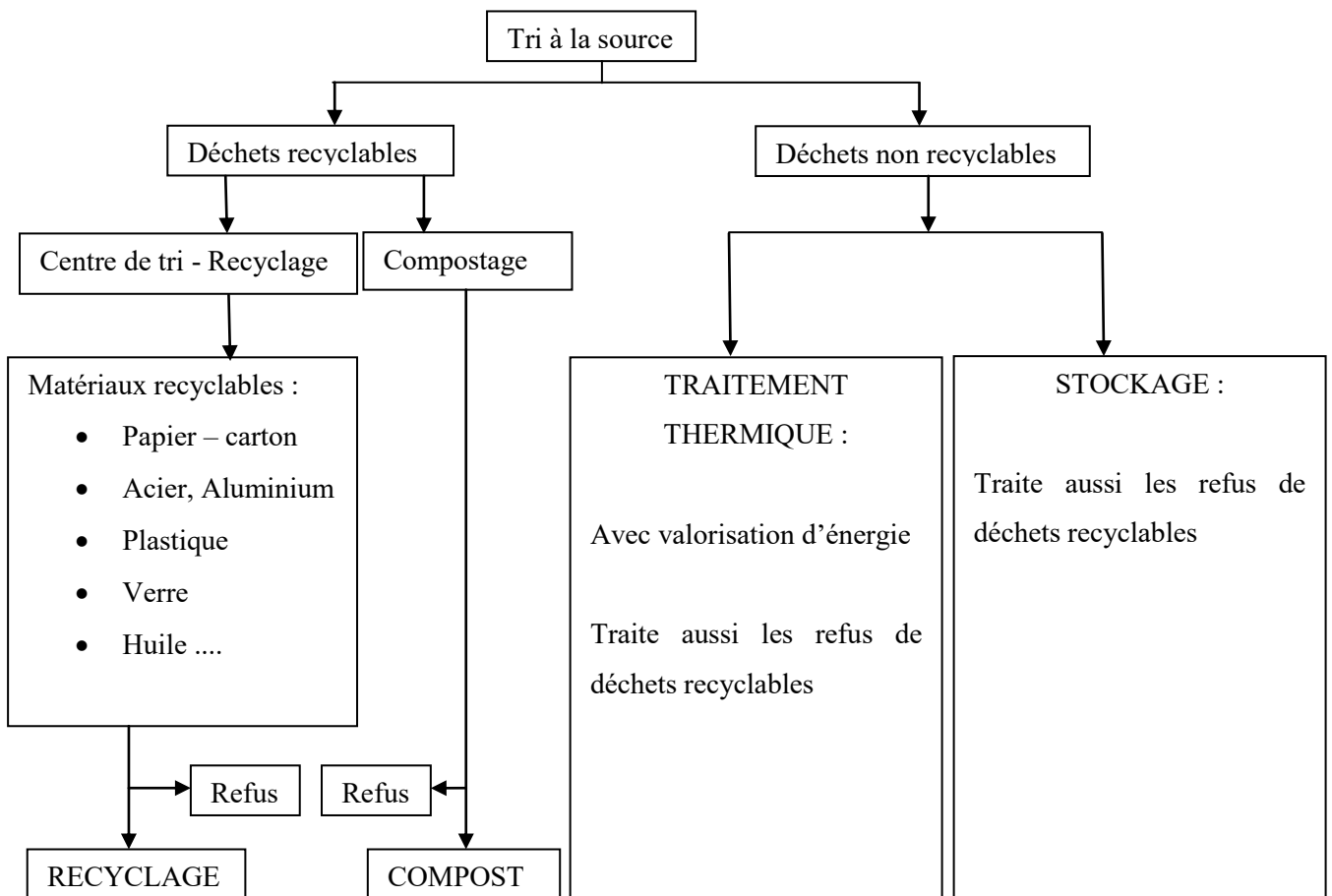


Figure I-10: Synoptique des flux de gestion des déchets



Figure I-11: Stockage de déchets dangereux



Figure I-12: Stockage de déchets ultime (non dangereux)



Figure I-13: Stockage de déchets inertes (déchets de BTP)

I.6 Coût dans la gestion des déchets

L'évaluation prévisionnelle des coûts requiert une approche rigoureuse.

Il est essentiel d'insister sur deux aspects :

- La nécessité de prendre en compte tous les éléments qui déterminent les performances et les coûts de la gestion des déchets : le degré de maturité et les performances des systèmes de collecte, le développement des instruments de gestion intégrée des déchets tels que la prévision, la réutilisation, la collecte sélective des différents flux de déchets, le contexte réglementaire local ;
- La nécessité de choisir attentivement les modalités de calcul et les unités de mesures des coûts.

Chapitre II : **Evaluation des impacts environnementaux**

II.1 Les difficultés de prise de décisions

Il est nécessaire de souligner que l'application des principes du développement durable dont le « principe de précaution » fait partie, est confrontée à la difficulté du dialogue :

« Lorsque la réalisation d'un dommage, bien qu'incertaine, en l'état des connaissances scientifiques, pourrait affecter de manière grave et irréversible l'environnement, les autorités publiques veillent par l'application du principe de précaution, à l'adoption de mesures provisoires et proportionnées afin d'éviter la réalisation du dommage... »

A cette difficulté de dialoguer, s'ajoute la difficulté de communiquer. En effets les chargés des dossiers environnementaux (politiques, ONG, voisins...), pour présenter régulièrement leurs dossiers et expliquer les démarches d'amélioration, ils sont confrontés à la difficulté permanente de communication, c'est-à-dire être capables de transformer les données scientifiques ou techniques en informations compréhensibles et crédibles.

Les mesures devant être appliquées pour l'industrie (industries des matériaux de construction et particulièrement aux ciments et bétons) :

Les grands principes du développement durable sont devenus une réalité complexe et multiforme pour l'industrie. Quelques réponses seulement peuvent être apportées à cette réalité par un secteur industriel :

- ✓ Limiter les émissions polluantes ;
- ✓ Travailler sur le recyclage des sous-produits ;
- ✓ Proposer des solutions qui protègent l'environnement ;
- ✓ Prendre en charge les questions liées à la santé publique.

L'analyse du cycle de vie (ACV) d'un produit valorisé dans le cadre d'un développement durable est essentielle pour une prise de décision.

II.2 Analyse de cycle de vie et développement durable

L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) évalue l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'un système en relation à une fonction particulière et ceci en considérant toutes les étapes de son cycle de vie. Elle permet d'identifier tous les points sur lesquels un produit peut être amélioré et elle contribue au développement de nouveaux produits. Le cycle de vie au sens large comprend plusieurs étapes

(conception du produit, l'extraction des ressources, production du produit, utilisation, fin de vie) et fait intervenir plusieurs flux, les plus étudiés étant les flux élémentaires qui se composent des flux échangés avec l'écosphère : les prélèvements de «ressources primaires» (pétrole, minéraux...), et des émissions de polluants (déchets solides, des effluents ou des émissions gazeuses). Deux exemples pour illustrer l'application de l'ACV :

1. Exemple d'une ACV d'un produit (bouteilles d'eau minérale)

Dans le cas des bouteilles d'eau minérale, il est possible de comparer deux types d'emballages, les bouteilles en verre et les bouteilles en plastique. Pour chacune des deux possibilités, sont recherchées des données quantifiées sur :

- ✓ La pollution de l'air, des sols et de l'eau,
- ✓ Les consommations de pétrole, de gaz et de charbon et d'énergie nucléaire,
- ✓ Les consommations de matières premières,
- ✓ Les quantités de déchets produits.

Ces données concernent la production de ces emballages, leur transport jusqu'au consommateur, leur recyclage et leur traitement. Cette masse de données réunies, il est possible d'estimer les impacts environnementaux.

Quatre étapes principales d'une ACV :

- Définition des objectifs et des champs de l'étude ;
- Collecte des données nécessaires au calcul de l'inventaire, réalisation d'un modèle du cycle de vie du service étudié et calcul de son inventaire lui-même ;
- Traduction des résultats de l'étude en termes d'impacts potentiels sur l'environnement ;
- Interprétation : c'est une étape d'aide à la décision au cours de laquelle les capacités de simulation sont utilisées (analyse de sensibilisation et scénarios).

2. Exemple d'une ACV d'un ouvrage

Pour faire une analyse de vie d'un tel ouvrage ; on doit le suivre durant toutes les cinq étapes comme en dit « du berceau à la tombe » comme suit :

Etape 1:

- ✓ Fabrication des matériaux ;
- ✓ Matériels et engins de chantier.

Etape 2 :

- ✓ Transport des matériaux ;
- ✓ Transport des matériels et engins de chantier.

Etape 3 :

- ✓ Réalisation de l'ouvrage.

Etape 4 :

- ✓ Vie de l'ouvrage.

Etape 5 :

- ✓ Fin de vie de l'ouvrage.

Avec plus de détail ; on doit analyser toutes les pas (Step-by-step) :

- L'extraction des matières premières ;
- La production des constituants ;
- La fabrication des matériaux et produits qui le composent ;
- Des matériaux ;
- Matériels et engins nécessaires à sa réalisation ;
- Leurs transport jusqu'au chantier ;
- Sa construction et sa vie en œuvre (exploitation, maintenance et entretien) ;
- Et en fin de vie, sa déconstruction et la valorisation des matériaux.

En plus de détails aussi :

Etape 1 :

Cette étape contient :

L'extraction des matières premières nécessaires à la fabrication des matériaux tels que les granulats pour la fabrication du béton et le calcaire et l'argile pour la fabrication du ciment,

La fabrication des matériaux nécessaires à la réalisation de l'ouvrage tels que, les coffrages et les huiles de décoffrage ou les produits de cure,

La fabrication des matériels et engins de chantier utilisés pour la réalisation de l'ouvrage (sous réserve que leur durée d'utilisation sur le chantier par rapport à leur durée de vie théorique soit significative).

Elle prend en compte tous les impacts entre l'extraction des matières premières jusqu'à la sortie de son site de production du produit, du matériel ou de l'engin.

Etape 2 :

Il entre dans cette deuxième phase d'analyse les travaux suivants :

Tous les transports (aller et retour) nécessaires pour assurer toutes les livraisons, de la sortie de chaque site de fabrication jusqu'au chantier :

1. Des divers matériaux structurants, des équipements et des matériaux nécessaires à la construction de l'ouvrage,
2. Des matériels,
3. Des engins.

Cette étape prend en compte, en particulier, la production et la combustion du gazole consommé par les transports par voie routière et les distances parcourues en charge et à vide.

Etape 3 :

Cette étape couvre la période comprise entre la mise en place des installations de chantier et la réception de l'ouvrage terminé. La réalisation de l'ouvrage est décomposée en différentes phases afin de distinguer :

Les travaux réalisés par l'entreprise générale présente sur le site pendant toute la durée du chantier (structure de génie civil : tablier et appuis),

Les travaux réalisés, par les sous-traitants qui interviennent de manière ponctuelle au cours de la réalisation de l'ouvrage. Ces travaux concernent les prestations suivantes :

- Fondations profondes; - Précontrainte; - Étanchéité; - Couche de roulement; - Appareils d'appui et joints de chaussée; - Asphalte; - Remblais contigus; - Armatures passives; - Dispositifs de retenue; - Préparation de chantier.

Cette phase intègre aussi :

1. L'ensemble des moyens généraux spécifiques au chantier (installations de chantier, consommation d'eau, éclairage, chauffage des installations de chantier...),
2. Les impacts des véhicules lors des déplacements effectués par tous les intervenants sur le chantier, pendant toutes les étapes de la construction,
3. Les consommations en carburant et énergie de l'ensemble des matériels et engins utilisés sur le chantier.

Etape 4 :

La vie de l'ouvrage concerne sa surveillance, son entretien et sa maintenance pendant sa durée d'utilisation. Il n'a pas été programmé de grosses réparations.

Etape 5 :

Cette étape s'intéresse à la déconstruction de l'ouvrage en fin de vie, au transport des matériaux et à leur traitement et stockage dans un site de valorisation.

II.3 Sous-produits de l'industrie et leurs valorisation dans le génie civil

II.3.1 Introduction

Toute activité de production ou de consommation génère des déchets, qui sont souvent associés à la détérioration de notre environnement et a de multiples risques pour la santé humaine.

La valorisation de certains déchets dans le domaine du génie civil est une priorité dans le contexte du développement durable. Elle permet de préserver les ressources naturelles tout en évitant la mise en dépôt définitif de ces déchets, souvent problématique pour l'environnement.

Parmi les objectifs de la valorisation des déchets dans le domaine du génie civil :

- Assurer le respect de la réglementation en luttant contre les décharges sauvages et en faisant appliquer le principe « pollueur-payeur » et qui attribue la charge du traitement et de l'élimination des déchets à leurs producteurs et détenteurs
- Mettre en place un réseau de traitement offrant une répartition géographique équilibrée des installations de recyclage, pour les matériaux valorisables et d'enfouissement pour les déchets ultimes, et organiser les circuits financiers de façon à ce que les coûts soient intégrés et clairement répartis ;
- Permettre au secteur du Bâtiment et des Travaux Publics de participer au principe de réduction à la source des déchets par l'utilisation de matériaux et de procédés de mise en œuvre et de déconstruction, produisant une quantité moindre de déchets à caractère moins polluant et mieux valorisable .
- Réduire la mise en décharge, et favoriser la valorisation et le recyclage des déchets afin d'économiser les ressources de matériaux non renouvelables.

- Permettre l'utilisation des matériaux recyclés dans les chantiers du BTP, dans le cadre des exigences habituelles d'économie, de sécurité environnementale, de sécurité technologique pour les ouvrages et de santé publique.
- Mieux impliquer les Maîtres d'Ouvrages publics dans l'élimination des déchets qui sont susceptible d'être recycler dans leurs domaines d'activité.

II.3.2 Laitiers de haut fourneau (LHF)

Les laitiers du haut fourneau sont des co-produits de la fabrication de la fonte des usines sidérurgiques (la production des laitiers est liée à celle des fontes).

Ils sont formés par la majeure partie de la gangue du minerai de fer et par la majeure partie des impuretés du coke et des fondants ajoutés.

Le laitier granulé se présente donc sous la forme de petits grains arrondis assez légers (densité apparente s'échelonne de 0,7 à 1,4) poreux de couleur terne (grisâtre ou jaunâtre selon les laitiers). Il est une sorte de verre (la teneur de verre dépasse les 90 % et atteint parfois 100 %).

II.2.2.1. Valorisation du laitier de haut fourneau

Deux types de laitier de haut fourneau sont distingués : cristallisé et vitrifié. La composition et la structure physique du laitier du haut fourneau varient énormément en fonction des procédés et des méthodes de refroidissement appliqués au laitier.

1. Laitier de haut fourneau cristallisé :

Il résulte de refroidissement lent à l'air libre du laitier soutiré de la base du haut-fourneau après avoir été séparé de la fonte. A l'air libre le laitier se cristallise sous forme de roche, et pour le fragmenter les sidérurgistes procèdent à son arrosage au début de sa solidification. Les caractéristiques de ce type de laitier sont données sur le tableau II-1. Sa composition minéralogique est donnée aussi sur le tableau II-2.

Tableau II-1 Caractéristiques des laitiers cristallisés

Caractéristique	Unité	Valeur /Observation
Granulométrie	mm	0 / 300
Résistance mécanique	//	Elevée
Conductivité thermique	//	Faible

Tableau II-2 Composition minéralogique des laitiers cristallisés

Composant	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO
Environ (%)	40	35	11	8

1.2.2.2 Laitier de haut fourneau vitrifié

Il résulte d'un arrosage violent et abondant de l'eau sous haute pression du liquide soutiré du haut-fourneau (trempe), et l'énergie calorifique contenue dans le laitier en fusion provoque son explosion et forme instantanément du laitier vitrifié appelé « laitier granulé». Ce type de laitier se présente sous forme de sable de couleur jaune / beige. Sa composition minéralogique est très proche de celui de LHF cristallisé.



Figure II-1: LHF cristallisé et vitrifié

II.3.3 Laitier d'aciérie (scorie d'aciérie)

Les sidérurgistes préfèrent employer les termes sous-produits ou co-produits pour nommer leurs déchets. Cette dénomination positive est justifiée par le fait que 81 % des déchets sidérurgiques sont valorisés. Les cendres à charbon et les scories d'aciéries métallurgiques sont parmi les déchets solides les plus produits.

Les scories d'aciéries sont dotées de caractéristiques mécaniques très importantes faisant d'eux un alternatif attrayant aux granulats naturels dans les chaussées routières. Chose qui permet d'augmenter la résistance des couches et de diminuer leurs épaisseurs.

II.2.3.1. Laitier granulé

Il est obtenu en faisant subir le laitier en fusion à une trempe par de l'eau pour empêcher sa cristallisation, il se présente sous forme d'un sable de dimensions 0/5 mm. Sa caractéristique principale est qu'il est instable et susceptible de se cristalliser en contact avec l'eau.

II.2.3.2. Laitier bouleté

Il se présente sous forme de boulettes quasi sphériques dont l'intérieur est creux sa granulométrie s'étend de 0 à 20 mm, il a les mêmes propriétés hydrauliques que le laitier granulé.

II.2.3.3. Laitier expansé (cristallisé)

C'est un laitier cristallisé dans lequel, pendant le refroidissement, on a provoqué la formation d'alvéoles. Plusieurs méthodes peuvent être employées pour favoriser l'expansion, elles comprennent toujours une injection d'eau (environ 1 m³/t de laitier), complétée éventuellement par une injection d'air et de vapeur d'eau.

Les principales caractéristiques physiques des laitiers d'aciéries sont données dans le Tableau II -3:

Tableau II-3 Principales caractéristiques physiques des laitiers d'aciéries

Résistance à l'usure (essai Micro-Deval)	6 - 12
Résistance à la fragmentation (coefficient de Los Angeles)	10 - 20
Résistance à la compression simple	Environ 80 MPa

A noté que la masse volumique apparente des granulats du laitier cristallisé concassé est supérieure à 1250 kg/m^3 , tandis que celle des granulats du laitier granulé supérieure est à 800 kg/m^3 . Ces granulats sont utilisés notamment dans les bétons routiers. Les différentes caractéristiques des granulats de laitier et leurs spécifications font l'objet des normes NF P18-302 et NF P18-306.

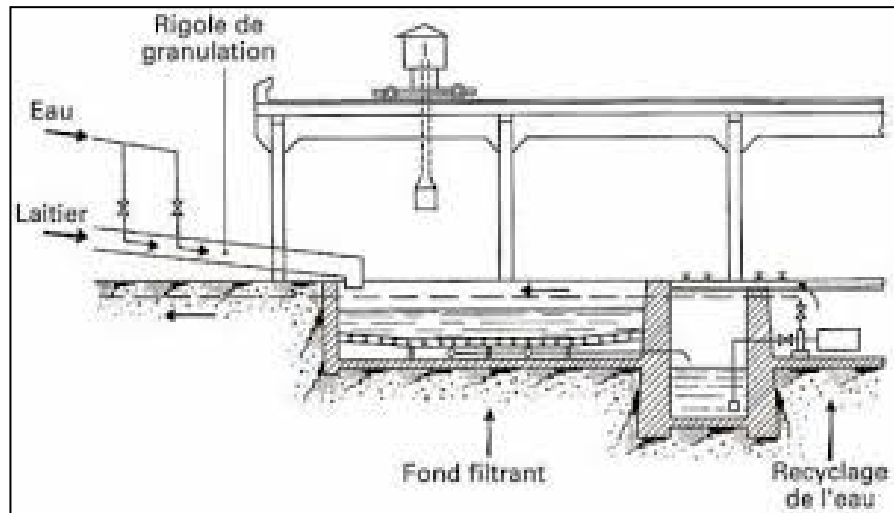


Figure II-2: Processus de production des laitiers granulés

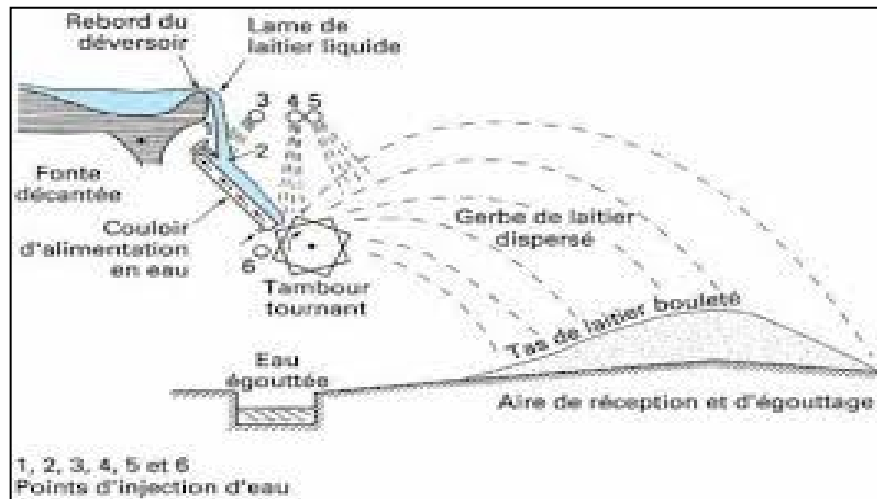
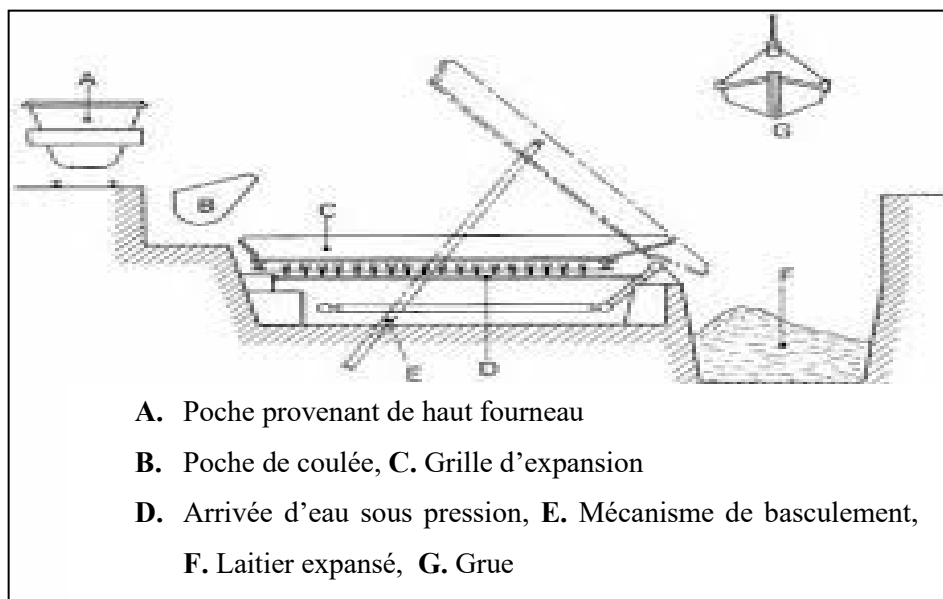


Figure II-3: Processus de production du laitier bouleté



- A. Poche provenant de haut fourneau
- B. Poche de coulée, C. Grille d'expansion
- D. Arrivée d'eau sous pression, E. Mécanisme de basculement,
- F. Laitier expansé, G. Grue

Figure II-4: Fabrication du laitier expansé

II.3.4 Préparation des laitiers pour la valorisation en génie civil

La réutilisation des différents laitiers d'aciéries dans le domaine de génie civil nécessite un traitement au préalable de ces matériaux, que ce soit une préparation mécanique visant la réduction de leur dimension en procédant à une opération de concassage et de criblage, ou un traitement chimique afin de minimiser les quantités de CaO et de MgO libres en favorisant des réactions consommant ces éléments potentiellement expansifs.

II.2.4.1. Préparation mécanique : concassage et criblage

Le concassage des coproduits issus de l'industrie sidérurgique permet, d'une part l'obtention d'une granulométrie bien définie, qui conditionnera leurs futur usage en domaine du génie civil. D'autre part, il permet de diviser la taille de la chaux libre contenue dans les roches grossières, afin d'augmenter la surface d'échange entre le laitier et le milieu ambiant. Car plus que cette surface est importante, plus l'hydratation et la carbonatation de la chaux libre seront complètes.

II.2.4.2. Préparation par traitement chimique

Le traitement chimique des laitiers de hauts fourneaux s'effectue naturellement (vieillessement naturel) ou artificiellement (vieillessement artificiel).

- Vieillessement naturel

Le vieillessement naturel consiste à exposer les laitiers aux intempéries et à l'aire libre. L'action conjuguée de l'humidité et du gaz carbonique présents dans l'atmosphère va peu à peu transformer la chaux libre en composés plus stables suivant les réactions :



Les laitiers obtenus ont donc une teneur en chaux libre abaissée et par conséquence la stabilité volumique est assurée.

- Vieillessement artificiel

Deux procédures sont largement utilisées pour rendre les laitiers plus stables :

- Par injection du sable ;
- Par injection de la vapeur.

II.2.4.3. Valorisation des laitiers en cimenterie

L'emploi du laitier granulé en cimenterie est doublement important, car il permet à la fois des économies considérables d'énergie (réduction du combustible de 30 à 40 %), et permet d'obtenir des ciments présentant des propriétés variées :

- Il peut être mélangé à du calcaire et être utilisé comme matière première pour produire du ciment Portland par le procédé à sec. Le clinker obtenu à partir de ces matériaux est souvent utilisé avec le laitier dans la fabrication du ciment portland au laitier.

Cette utilisation du laitier est économique (car la chaux est présentée sous forme de CaO de sorte que l'on n'a plus à fournir l'énergie nécessaire pour la décarbonatation.

- Dans la plupart des pays, le laitier granulé et broyé est utilisé dans le ciment portland comme ajout pour fabriquer des ciments portland au laitier.
- Le laitier du haut fourneau granulé broyé à une finesse appropriée peut être utilisé seul comme liant mais en présence d'un catalyseur à base d'alcalis.

II.2.4.4. Laitiers pour la confection du béton

Dans un béton, le squelette granulaire (sable et granulats naturels peuvent être remplacés par le laitier vitreux et le laitier cristallisé concassé respectivement). Le laitier concassé forme d'excellents granulats pour le béton.

De même le laitier granulé entre dans la confection des bétons légers (bétons cellulaires), et les briques de laitiers.

II.2.4.5. Laitiers pour les travaux routiers

Les utilisations concernent la construction des chaussées, des routes, autoroutes et les assises où on peut utiliser soit le laitier granulé où le laitier concassé.

- Le laitier granulé est utilisé comme liant grâce à son hydraulité, dans la fabrication de matériaux pour assises routières (graves laitiers).
- Le laitier cristallisé étant utilisé après concassages et criblages comme granulats dans la fabrication de matériaux d'assises de chaussées (grave laitier tout laitier).

II.2.4.6. Réglementation de la valorisation des laitiers en génie civil

Norme XP P 18 545 « Granulats : Définitions, Conformité, Spécifications » cette norme est une référence pour les différents domaines d'emploi des granulats dans les chaussées, bétons hydrauliques et ouvrages ferroviaires. Elle permet de classer les laitiers d'aciéries, ainsi que tous les autres granulats, par rapport à des catégories de caractéristiques intrinsèques (résistance au choc LA, résistance à l'attrition MDE, ..) et de caractéristiques de fabrication (granulométrie, propreté,..).

NF P 11-300 « Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructure routière », rubrique sols matériaux rocheux et granulats naturels. Les co-produits industriels, ainsi que les sols organiques sont classés sous la rubrique F dans cette norme.

II.3.5 Cendres volantes :

Les cendres volantes sont des résidus de procédé thermique ; plus précisément, ce sont les produits de la combustion de charbon dans les centrales thermiques. En règle générale, elles sont obtenues par une séparation électrostatique ou une précipitation mécanique des fumées de combustion.

Les normes européennes du génie civil sont restrictives et ne prennent en compte que les cendres de chaudière à charbon pulvérisé. C'est le cas notamment de la norme EN 197-1 (février 2001), relative à la fabrication de ciment, qui limite les cendres utilisables aux seules cendres de chaudière à charbon pulvérisé. La norme EN 450-1 (février 2005) qui régit l'addition de cendre volante au béton rend tout aussi impossible l'usage des cendres de chaudière à lit fluidisé circulant (LFC), à cause de leurs compositions chimiques. La réglementation concernant les travaux routiers est tout autant limitative, avec la norme NF P98-111.

Chapitre III : Recyclage

III.1 Le recyclage, définition et enjeux

Le **recyclage** est un procédé de traitement des déchets (industriels ou ménagers) de produits arrivés en fin de vie, qui permet de réintroduire certains de leurs matériaux dans la production de nouveaux produits. Les matériaux recyclables comprennent certains métaux, plastiques et cartons, le verre, les gravats, etc.

III.2 Matériaux alternatifs ; gisement et gestion

III.2.1 Définition d'un matériau alternatif

D'après le dictionnaire environnement et développement durable : « Matériau alternatif désigne tout matériau élaboré à partir d'un même lot périodique et destiné à être utilisé, seul ou en mélange avec d'autres matériaux, alternatifs ou non, au sein d'un matériau routier. »

Les matériaux alternatifs sont élaborés par tri, concassage, criblage pour obtenir des granulats recyclés et graves de recyclage.

III.2.2 Gisement et gestion des matériaux alternatifs

Les flux des déchets spécifiques vers les installations de stockage intermédiaire constituent leurs gisements.

Les déchets de chantiers proviennent des activités de la construction, du génie civil et des travaux publics sont fortement hétérogènes et représentent le gisement de déchets alternatifs le plus important.

III.2.3 Prescriptions du guide d'applications relatives aux matériaux de déconstruction du BTP

III.2.3.1. Critères de recyclage liés à la nature de l'usage routier

Les usages routiers de « **Type 1** » :

Sont les usages d'au plus trois mètres de hauteur en sous couche de chaussée ou d'accotement d'ouvrages routiers « revêtus », tels que :

- Remblai sous ouvrage ;
- Couche de forme ;
- Couche de fondation ;
- Couche de base et de liaison.

Un ouvrage routier est réputé « revêtu » si sa couche de surface est réalisée à l'aide d'asphalte, d'enrobés bitumineux, d'enduits superficiels d'usure, de béton

de ciment ou de pavés jointoyés par un matériau lié et si elle présente en tout point une pente minimale de 1 %.

Les usages routiers de « **Type 2** » :

Sont les usages d'au plus six mètres de hauteur en remblai technique connexe à l'infrastructure routière (ex: plateforme, tranchée, merlon de protection phonique, etc.) ou en accotement, dès lors qu'il s'agit d'usages au sein d'ouvrages routiers « recouverts ».

Un ouvrage routier est réputé « recouvert » si les matériaux routiers qui y sont présents sont recouverts par au moins 30 centimètres de matériaux naturels ou équivalents et s'il présente en tout point de son enveloppe extérieure une pente minimale de 5 %.

Les usages routiers de « **Type 3** » :

Sont les usages :

- En sous-couche de chaussée ou d'accotement, au sein d'ouvrages revêtus ou non revêtus ;
- En remblai technique connexe à l'infrastructure routière (ex : plateforme, tranchée, merlon de protection phonique) ou en accotement, au sein d'ouvrages routiers recouverts ou non recouverts ;
- En couche de roulement (enduits superficiels, bétons bitumineux ...) ; en remblai de pré-chargement nécessaire à la construction d'une infrastructure routière ;
- En système drainant (ex : tranchée ou éperon drainant, chaussée réservoir).

Rentrent également dans cette catégorie des usages de « type 3 », l'utilisation des matériaux pour la construction :

- ✓ De pistes de chantier;
- ✓ De routes forestières;
- ✓ De chemins d'exploitation agricole ;

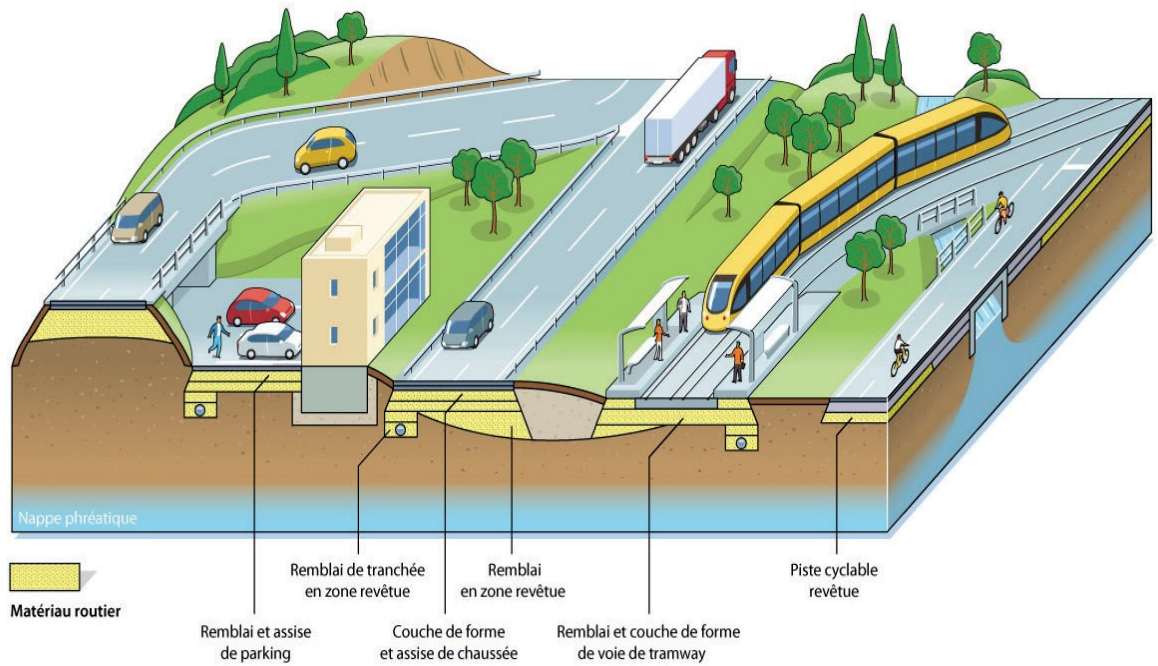


Figure III-1: Usages routiers type 1

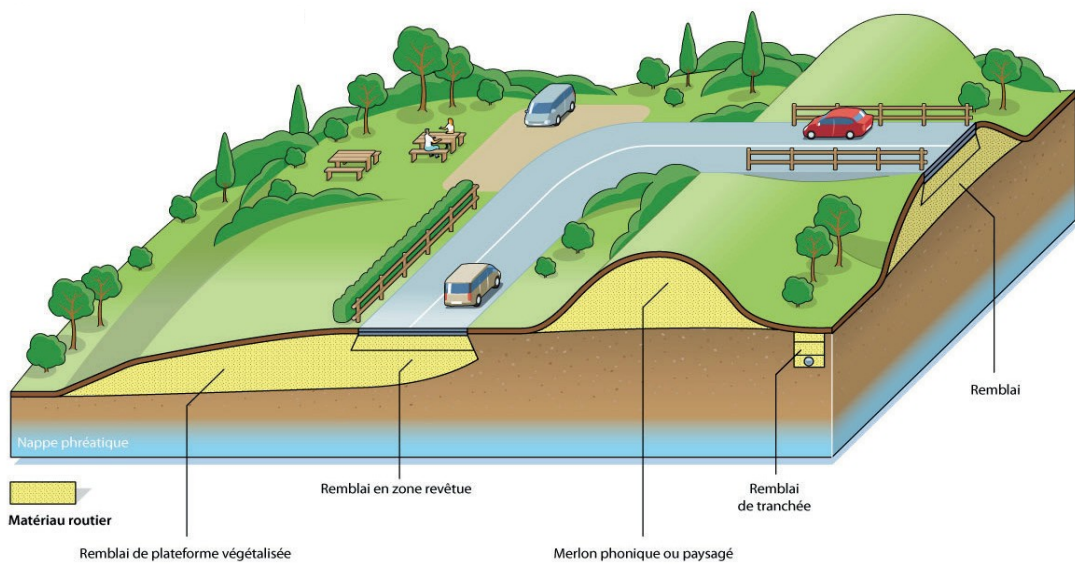


Figure III-2: Usages routiers type 2

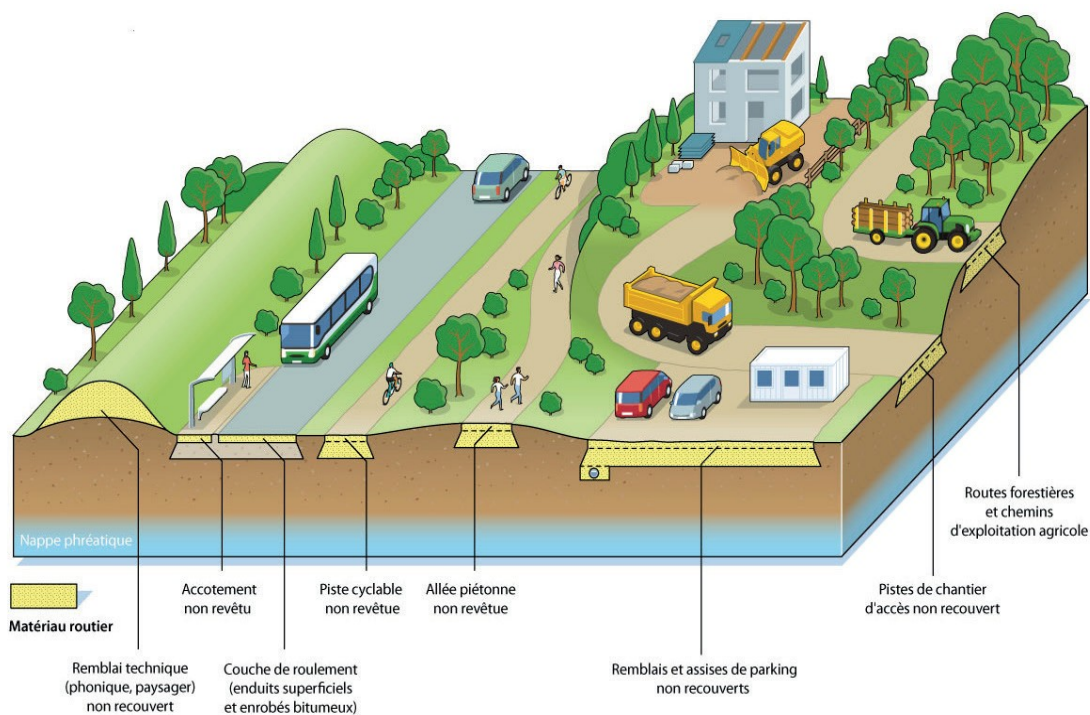


Figure III-3: Usage routiers type 3

III.3 Recyclage du béton

Le béton est un mélange composite d'eau, de granulats, de liant hydraulique, le plus souvent du ciment, et d'éventuels adjuvants. Ce type de matériaux de constructions a trouvé une large utilisation à travers le monde.

Malgré ses avantages, le béton est confronté à divers enjeux environnementaux.

Parmi ces enjeux, on cite :

- ✓ Emission de CO₂
- ✓ Grande consommation énergétique ;
- ✓ Consommation de la matière première non renouvelable.

En parallèle, l'industrie de la construction et de la démolition dans le domaine du génie civil représente une part non négligeable de la production de déchets.

Le recyclage du béton entre dans le cadre de répondre aux différents enjeux environnementales et industriels tel que :

- La diminution importante d'émission des gaz à effet de serre ;
- La réduction de la consommation énergétique ;
- L'utilisation rationnelle de ressources naturelles ;

- La valorisation des déchets de déconstruction pour limiter voire éliminer le stockage en décharges.

III.3.1 Granulats de béton recyclé (GBR)

Les déchets de bétons sont recyclés dans les bétons sous forme de granulats ou de sable. Les granulats de béton recyclé (GBR) sont les plus demandés et utilisés par rapport au sable de béton recyclé (SBR). (Figure III-4 et Figure III-5).

La composition des GBR destinés à être recyclés dans le béton a été précisée par des normes (NF EN 206/CN). Ainsi, ils doivent contenir au moins 90 ou 95 % de béton ou de granulats naturels, et avoir un taux de contaminant généralement inférieur à 1 % de la masse totale du produit.

Sur un chantier, les éléments en béton issus du bâtiment démolé peuvent faire l'objet de réemploi, c'est-à-dire d'une réutilisation directe sur place pour le bâtiment à construire. Lorsque les déchets sortent du chantier, ces derniers peuvent être enfouis en Centre de Stockage des Déchets Inertes (CSDI), ou bien être valorisés en dehors du chantier.



Figure III-4: Granulats de béton recyclé



Figure III-5: Sable de béton recyclé

III.4 Recyclage de l'industrie cimentaire

L'industrie du ciment est forte consommatrice de matières premières et d'énergie, de plus en plus coûteuses. Pour utiliser (valoriser) des déchets, notamment des déchets difficilement recyclables par d'autres voies, les cimenteries présentent des atouts majeurs, en particulier par rapport à une incinération spécialisée. Pour réduire les prix de revient (ainsi que les impacts environnementaux), cette industrie utilise des sous-produits minéraux et, de plus en plus, des combustibles de substitution. L'utilisation

de déchets minéraux, celle des déchets combustibles permet de « faire d'une pierre deux coups » en épargnant des énergies fossiles et en assurant une fonction d'élimination de déchets.

Le laitier granulé représente un meilleur sous-produit « déchet » recyclé en industrie cimentier. Car il permet à la fois des économies considérables d'énergie (réduction du combustible de 30 à 40 %), et permet d'obtenir des ciments présentant des propriétés variées.

III.5 Recyclage dans le domaine des chaussées

On peut classer l'état de la détérioration d'un revêtement bitumineux suivant quatre degrés:

1. Durant la construction, une première détérioration est causée par le durcissement du bitume dans le malaxeur;
2. Le vieillissement et l'usure normale dans les premières années après la construction et l'utilisation du pavage amènent des signes de détérioration comme la microfissuration et le déchaussement des granulats;
3. Le pavage montre une surface plus usée, d'apparence générale pauvre avec indice de roulement très faible, mais où la structure est encore solide;
4. la détérioration est telle que le pavage ne remplit plus le rôle pour lequel il a été conçu. Cet état est causé par un vieillissement excessif, beaucoup d'usure et, souvent, un manque d'entretien adéquat.

III.5.1 Catégories des modes de recyclage des chaussées

On peut grouper les modes de recyclage en deux grandes catégories:

- sur place ;
- en usine.

A. Recyclage sur place

Le recyclage sur place se présente sous deux formes, selon le type de procédés:

1. procédé superficiel;
2. procédé à grande épaisseur.

B. Recyclage en usine

Ce recyclage se fait à chaud ou à froid. Ce procédé peut se décrire de la façon suivante:

La couche de béton bitumineuse, incluant dans quelques cas la couche de fondation sous-jacente, est enlevée, réduite en morceaux et mélangée avec un liant bitumineux dans une usine. Le recyclage en usine implique la récupération du revêtement, soit par rabotage à froid, soit par bris au moyen d'une défonceuse, suivi d'un concassage.

III.5.2 Classification des retraitements

En fonction de l'épaisseur retraitée de l'ancienne chaussée on obtient :

- ✓ Un renforcement structurel (exemple de renforcement des caractéristiques mécaniques de l'ancienne qui ne sont plus adaptés à l'évolution du trafic) ;
- ✓ Une amélioration des caractéristiques des couches de surfaces.

Dans ces conditions :

- ✓ Le retraitement par liant hydraulique permet de restructurer l'assise d'une chaussée sur 20 à 30 cm de profondeur ;
- ✓ Le retraitement à l'émulsion de bitume peut être structurel lorsqu'il est réalisé sur une épaisseur de 10 à 15cm ou dans l'objectif d'améliorer les caractéristiques des couches de surfaces lorsqu'il est réalisé entre 5 à 12 cm.

Avantages de recyclage des chaussées

Deux grands avantages pour recycler les chaussées et qui sont :

1. La conservation du bitume et des granulats ;
2. La protection de l'environnement qui en découle.

Chapitre IV : Valorisation des déchets

IV.1 Valorisation des boues de stations d'épuration

Les accroissements démographiques, économiques et urbains génèrent différentes sources de pollution environnementale (pollution atmosphérique, contamination des eaux de surfaces et profondes, pollution du sol...), et ce, en particulier dans les pays en développement moins soucieux et peu sensibilisés aux risques sanitaires.

Dans l'optique de la protection de l'environnement, les eaux usées sont acheminées vers les stations d'épurations afin de les traiter avant leur rejet en milieu naturel récepteur. Quel que soit le système d'épuration adopté, le traitement des eaux usées s'accompagne d'une production de quantités de boues non négligeables dont il faut les valoriser voire les éliminer.

IV.1.1 Filières de valorisation des boues de STEP

Jusqu'à nos jours, quatre filières sont bien documentées et ayant des guides d'application pour la valorisation des boues de STEP et qui sont :

- La valorisation agricole par épandage;
- La valorisation énergétique
- Le compostage ;
- La mise en décharge.

IV.1.1.1 La valorisation agricole

L'épandage agricole des boues dépend de la valeur fertilisante qu'elles contiennent, il est le mode d'élimination le plus ancien et fiable. Les boues sont épandues dans les champs et les forêts sous forme liquide ou pâteuse (après déshydratation), puis enfouies. Ce procédé de valorisation contribue énormément à la protection de l'environnement et au développement durable grâce aux économies réalisées en énergie nécessaire à la fabrication des engrais.

IV.1.1.2 La valorisation énergétique

La valorisation énergétique regroupe différentes technologies permettant la transformation de la fraction organique des boues en énergie. Les technologies de valorisation énergétique des boues des STEP permettent aussi d'éliminer et de détruire les boues. L'avantage de la valorisation des boues sur le site de la STEP, permet d'améliorer le bilan environnemental en diminuant le transport des boues

et en produisant une énergie thermique et électrique directement consommée sur la station.

A. La méthanisation (Gazéification)

La méthanisation est utilisée depuis longtemps pour traiter les boues des STEP par l'élimination de la matière organique contenue. Plus la boue est chargée en matière organique, plus la méthanisation sera plus efficace. La méthanisation permet de solutionner la problématique des boues des STEP, ce processus permet de réduire le volume des boues, de les désodoriser et de les stabiliser. La méthanisation s'effectue dans des installations dites « Digesteurs ». Figure IV-1



Figure IV-1: Production des biogaz par méthanisation au digesteur

B. L'incinération

L'incinération est le procédé essentiel et définitif d'élimination de la matière organique existante dans les boues des STEP et aussi l'élimination totale de l'eau interstitielle. La capacité d'incinération des boues est conditionnée par deux facteurs, la teneur en matières organiques et la siccité. (Figure IV-2)



Figure IV-2: Incinérateur

IV.1.1.3 Le compostage

Le compostage est un processus de décomposition et de transformation «contrôlées» de déchets organiques sous l'action de populations microbiennes diversifiées évoluant en milieu aérobie. Grâce à ses caractéristiques chimiques, le compost peut assurer en même temps la fertilité et l'équilibre du sol.



Figure IV-3: Compostage des boues d'épuration

IV.1.1.4 La mise en décharge

La mise en décharge contrôlée consiste en un enfouissement des boues (souvent mélangées avec les ordures ménagères) en tenant en compte de certaines conditions : compactage des résidus, site étanche, récupération et traitement des jus de décharges (lixiviats), équipement et gestion du site.

IV.2 Valorisation des boues de dragage/curage (sédiments)

Les sédiments ont généralement deux origines. Les sédiments d'origine endogène proviennent de la production autochtone du milieu. Les sédiments d'origine exogène, externe au milieu, ont soit une origine naturelle, provenant principalement de l'érosion des sols, ou une origine anthropique. Ainsi, l'envasement des ports est majoritairement d'origine marine, dû à l'érosion des côtes. (Figures IV-4 et IV-5).

La valorisation des sédiments figure parmi les recommandations dans de nombreuses études effectuées sur le devenir des sédiments dragués ainsi que sur la préservation des ressources en eau et la protection de l'environnement.

Les questions environnementales sont particulièrement liées à ces propositions de valorisation. Les populations, les politiques, les organisations diverses..., sont amenées à dialoguer malgré les difficultés liées à la communication, pour préserver l'environnement dans le cadre global du développement durable.

Suivant la réglementation relative à la gestion des sédiments de dragage, ces derniers peuvent être classés en trois familles selon leur potentiel de dangerosité :

- Sédiments inertes ;
- Sédiments non inertes et non dangereux ;
- Sédiments non inertes et dangereux.

IV.2.1 Valorisation des sédiments et le développement durable

La valorisation des sous-produits issus des dragages doit s'inscrire dans le cadre global du développement durable dont les objectifs sont regroupés en trois classes essentielles :

- Préserver l'environnement par des mesures de protection de la qualité de l'environnement, par la restauration, l'aménagement et le maintien des habitats essentiels aux espèces ainsi que par une gestion durable de l'utilisation des populations animales et végétales exploitées ;
- Améliorer l'éthique sociale, c'est-à-dire permettre la satisfaction des besoins essentiels des communautés humaines présentes et futures et

l'amélioration de la qualité de vie, et ce, notamment, par l'accès au logement de qualité ;

- Améliorer l'efficacité économique, c'est-à-dire favoriser une gestion optimale des ressources humaines, naturelles et financières, afin de permettre la satisfaction des besoins des communautés humaines, et ce, notamment, par la responsabilisation des entreprises et des consommateurs.

IV.2.2 Traitement des sédiments de dragage

Le traitement des vases est l'ensemble des processus utilisés pour améliorer leurs propriétés physiques et mécaniques. Ce traitement peut se faire de deux façons différentes : soit par stabilisation de la vase en lui ajoutant d'autres produits qui améliorent certaines propriétés, soit par une dépollution. Dans tous les cas l'objectif du traitement est la valorisation de la vase.

Les principaux traitements qui ont été expérimentés ou qui sont réellement opérationnels dans le monde actuellement sont :

1. La séparation granulométrique par hydro-cyclone (port de Hambourg) ;
2. Le recyclage des boues à des fins agricoles et urbaines (port de Rotterdam) ;
3. La méthode d'empreinte (port de Stein) ;
4. L'utilisation d'un hydro cyclone et d'un élutriateur (port de Hambourg).

IV.2.3 Quelques filières de valorisation de la vase de dragage

1. L'industrie de bâtiment

L'exploitation de la vase comme liant hydraulique vu qu'elle renferme les mêmes minéraux essentiels, offre une voie de valorisation concrète. Pour cela, il faut que la teneur en argile et en calcaire soit suffisante. Les domaines d'application de ces nouveaux produits sont divers puisque les critères mécaniques ne sont pas les seuls recherchés ; les performances vis-à-vis de la durabilité offrent de nombreuses possibilités d'investigation. Pour que les expériences acquises puissent être appliquées à nos matières premières, il est nécessaire d'effectuer des essais d'activation thermique sur des échantillons de vase. Le traitement thermique transforme la composition minéralogique du matériau. La combinaison des nouvelles structures amorphes avec la

chaux et les nouvelles formations cristallines, aboutissent à la formation de liant hydraulique.

2. Agronomie

Des quantités considérables de sédiments peuvent être exploitées directement. Des études récentes ont mis en évidence les possibilités réelles d'utilisation de la vase comme fertilisant. De plus l'aménagement de pâturages aux abords des cours d'eau pourrait stabiliser les versants et diminuer des effets de l'érosion.

3. Fabrication des briques

Une possibilité prometteuse consiste à utiliser la vase directement dans la fabrication de briques ou de tuiles. En vertu de leur composition minéralogique, les vases séchées et traitées thermiquement dans des conditions particulières de pression et d'humidité, aboutissent à des résistances comparables à celles des briques et tuiles utilisées en construction. D'habitude, les matières premières utilisées en tuilerie doivent être homogénéisées et traitées par des procédés mécaniques (concassage, tamisage, lavage...). En ce qui concerne les vases, ces opérations sont déjà accomplies du fait du charriage sédimentaire dans les cours d'eau. Ainsi il est admis que la matière première transportée par drague suceuse est pratiquement homogène et ne nécessite pas d'autre traitement. Par contre, il est important d'éviter les impuretés qui pourraient nuire à la qualité du produit fini.

4. Autres filières de valorisation de la vase

Les autres possibilités de valorisation à envisager pour les vases issues des dragages dépendent principalement de leurs teneurs en minéraux argileux ainsi que de leur granulométrie. Les matières qui contiennent entre 45 et 70% de silice, entre 12 et 15% d'alumine et une courbe granulométrique évoluant dans le domaine entre le limon et celui des sables fins, sont utilisées grâce à leur caractère pouzzolanique en techniques routières et dans certains matériaux du génie civil. Dans la plupart des cas il s'agit d'une substitution à un matériau devenu plus rare donc plus coûteux. Dans toutes ces études, la recherche consiste à déterminer des formulations optima de mélanges à base de boues séchées et éventuellement incinérées pour un comportement mécanique maximum, le plus souvent en matière de résistance à la compression.

La fraction solide des vases de barrage constitue un matériau économique local très attractif du fait de sa granularité fine économisant les étapes coûteuses de

concassage et tamisage, dans les applications en Génie Civil. L'utilisation de ces matériaux en tant que matière première contribue sûrement à la protection de l'environnement des désordres apparus suite au simple rejet des matériaux dragués. La prise en charge ne concernera alors que les déchets ultimes qui ne représentent qu'une fraction réduite.



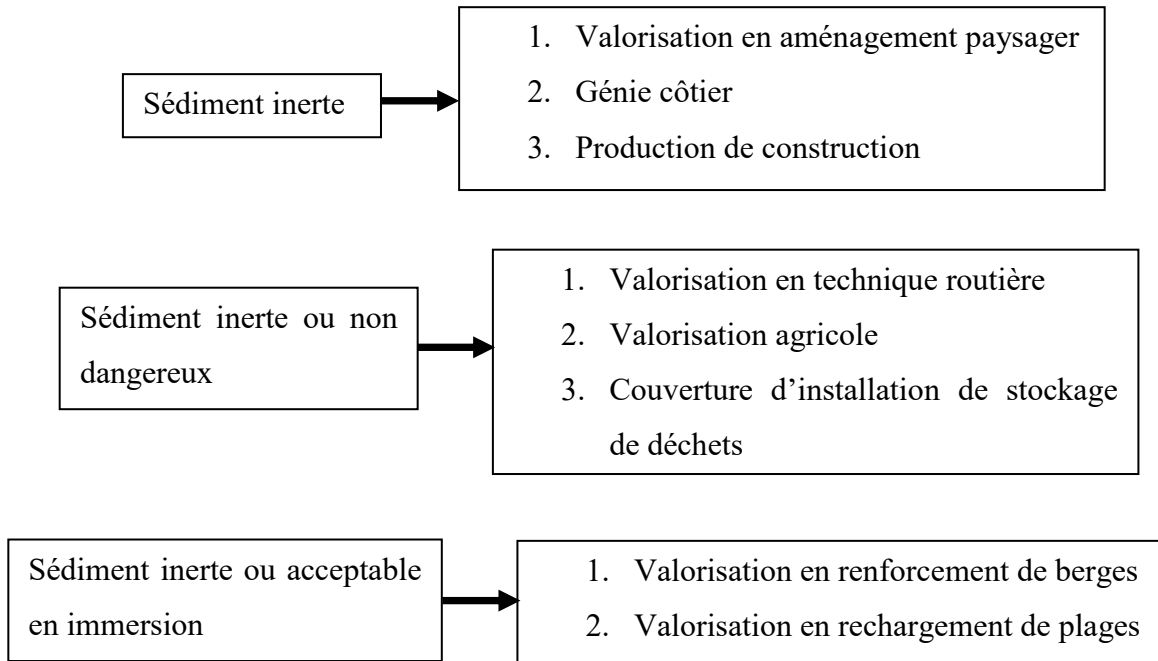
Figure IV-4: Sédiments de dragage



Figure IV-5: Boues de curage

IV.2.4 Filières de valorisation des sédiments

Le choix d'une telle filière pour la valorisation des boues de dragages et de curage dépendent de leur degré de dangerosité. Pour cela ces filières de valorisation peuvent être regroupées comme suite :



Bibliographie

- [01] Souad, EL., et al. « Valorisation d'un mélange de cendres d'une centrale thermique et de scories d'aciérie dans les chaussées routières »
- [02] Michel, A., et al. 2002, « Gestion de déchets ». Université de Rouen, France.
- [03] Sidi, O., 2006, « Méthodologie de caractérisation de déchets ménagers » Thèse de Doctorat. Université de Limoges, France.
- [04] Véronique, M., et al., 2014, « Transport et logistique de déchets » ADEME, France
- [05] Groupe ACV et ADEME, 2005, « L'analyse de cycle de vie », France.
- [06] Richard, L., et al., 1982, « Recyclage des revêtements bitumineux » 'Guide'
- [07] Kechkar, C., 2013, « L'analyse du cycle de vie outil du développement durable » CDER, Algérie.
- [08] Jacquemine, L., et al., 2013 « L'analyse du cycle de vie pour le développement de nouveaux procédés de valorisation des bio-ressources » Université de Toulouse, France.
- [09] Lamtigue, A., et al., 2014 « Etude bibliographique : Valorisation des laitiers d'aciéries en génie civil » Ecole des Mines de Douai, France
- [10] « Un guide des 3RV » 2008, Institut de développement durable, Québec. Canada
- [11] Brahim, Dj., 2012, « La gestion des déchets municipaux en Algérie » Thèse de Doctorat. Université de Rouen, France.
- [12] SPI., 2001, « Les déchets » Vallée de seine, France
- [13] Ministère de développement durable, LUXEMBOURGUE,. 2010, « Plan de gestion des déchets »
- [14] Gérare, B., 2008. « Le contour de la concurrence entre la cimenterie et incinération spécialisée de déchets en Europe » (49) pp 8 – 13. Revue francophone d'écologie industrielle
- [15] Nguen, V. N., 2016. « Valorisation de fines et granulats issus de bétons recyclés comme matériaux cimentaires » Thèse de Doctorat, Université de Toulouse. France
- [16] Ministère de Transport Québec, 1982. « Recyclage des vieux revêtements bitumineux » Canada.
- [17] Guide technique «Sétra », 2004. « Retraitement des chaussées et recyclage des matériaux bitumineux de chaussées ». France.

- [18] Cléo, L., 2014. « Valorisation des déchets de chantier BTP : comportement à haute température de béton de granulats recyclés », Thèse de Doctorat, Université Cergy Pontoise, France.
- [19] Barteau, A., et al., 2017. « Filière béton et économie circulaire : Les enjeux » Ecole des Pont (Paris Tech), France.
- [20] Semcha, A., 2006. « Valorisation des sédiments de dragage : Application dans la BTP ; cas du barrage Fergoug », Thèse de Doctorat, Université Reims. France.
- [21] Djafari, D., 2019. « Comportement et traitement des boues issues des stations d'épuration » Thèse de Doctorat, ENP d'Oran. Algérie.
- [22] IREX (Institut pour la Recherche appliquée et l'Expérimentation en génie civil), 2012 - 2016. « PN RECYBETON » France.
- [23] IREX (Institut pour la Recherche appliquée et l'Expérimentation en génie civil), 2018. «RECYBETON, Recommandations » France.
- [24] Moussa, C., 2016. « Recyclage des matériaux de construction » Polycopie de cours. Université de Bejaia. Algérie.



دار الجامعيين
للنشر و الطبع و التوزيع

Adresse : Maison des universitaires pour l'édition,
l'imprimerie et la diffusion, Cité 268 logements LSP, local
405, Oudjlida Tlemcen, Algérie

Téléphone : (+213) 06 99 13 35 15

Adresse mail : maisonuniversitaires@gmail.com

ISBN : 978-9969-538-56-4

الايداع القانوني: 11/2024

جميع الحقوق محفوظة

لدار الجامعيين للنشر و الطباعة و التوزيع