

République algérienne démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar_ El Oued



Faculté Technologie

Département De Génie civil et hydraulique

Polycopié de cours

(Niveau : 2ème Année Master Génie Civil)

Matériaux Recyclés

Préparé par :

Dr. SOULIMANE Ilyas

Maitre de conférences « B »

Année universitaire : 2020-2021

Plan de cours

1- Informations sur le cours

Cette section vous permet de donner tous les renseignements de base relatifs au cours :

- Ce module est enseigné à l'université Echahid Hama Lakhdar El oued.
- **Unité d'enseignement : UEF 2.1.1- semestre : 3**
- Intitulé de la matière : Matériaux recyclés
- Le volume horaire du module est d'environ 45h. Soit 1:30 de cours et 1:30 TD
- Crédits : 4
- Coefficient : 2
- Lieux : Faculté de Technologie, Département de L'hydraulique et Génie civil, Salle 15 et 22.
NB : Les salles sont susceptibles de changer
- Enseignant :
Dr SOULIMANE Ilyas.
Email : s-ilyes@hotmail.fr Je réponds au moins de 3h les jours de la semaine.
- Disponibilités : Au sein de la faculté, le LUNDI et le MARDI de 08:00 à 15:30.

2- Présentation du cours

Depuis quelques années nous remarquons, que la qualité de l'air et de la terre se détériore en raison de certains paramètres notamment la pollution et l'accroissement du nombre de déchets. C'est pour cette raison que beaucoup de pays cherchent des alternatives pour remédier à ce problème.

C'est ainsi, qu'apparaît la notion de développement durable. Toutefois l'aspect du développement durable que nous avons choisi d'étudier est le recyclage, la valorisation des déchets et leur réutilisation.

3- Contenu

- **Gestion des déchets**

Définition des déchets

Collecte, transport et stockage

Traitement des déchets

Coûts dans la gestion des déchets

- **Evaluation des impacts environnementaux**

Cycle de vie et développement durable

Sous-produits de l'industrie et leurs valorisations dans le génie civil

Laitiers de haut fourneau, scories d'aciéries et Cendres volantes

- **Recyclage**

Le recyclage, définition et enjeux

Matériaux alternatifs ; gisements et gestion

Recyclage du béton

Recyclage de l'industrie cimentaire

Recyclage dans le domaine des chaussées

Approche environnementale de la production du béton

- **Valorisation des déchets**

Les boues des stations d'épuration
Les boues de dragage/curage
Le caoutchouc

4- pré-requis

Afin d'arriver aux objectifs de cours, il est impératif de maîtriser les modules suivants :

- Matériaux de construction (MDC)
- Technologie du béton
- Technologie du béton.

Les étudiants doivent tester ces pré-requis via le cours mis à leur disposition à travers le test. Un autre test sera éventuellement communiquer lors des premières séances.

5- Place du cours dans le programme

Ce module est l'un des trois modules de l'unité d'enseignement fondamentale. Cette unité d'enseignement à pour code le suivant : UEF 2.1.1

6- Visées d'apprentissages

D'une façon générale, à l'issue de ce cours, les étudiants seront aptes à se conduire comme une personne responsable à ne pas nuire à l'environnement en faisant de geste simple vis-à-vis les déchets produits, et en plus faire passer des consignes non seulement aux simples citoyens mais aussi aux professionnels du moment que le module touche aussi les secteurs industriels. De plus, ils seront habiles à distinguer et reconnaître les différents type et nature de produits ménagers et industriel a recyclés puisqu'ils ont un impact direct sur l'environnement s'ils ne seront pas traités (leur donner une seconde vie).

7- Modalités d'évaluation des apprentissages

L'évaluation relative ace module est de la manière suivante :

a-Contrôles continus :

Le module comporte un nombre d'évaluation continu égale à 2 réparti le long du semestre, théoriquement le premier est à prévoir vers la fin du premier mois d'étude, et le 2^{ème} a partir de 50 % du programme communiquer dans le canevas. Le poids de cette partie est égal à 60 % de la note globale du contrôle continu où on ajoute les 40 % restante sous forme de travail personnel et assiduité.

b- Examen final :

Cette épreuve, d'où son nom, est le dernier examen à faire passer par l'étudiant durant le semestre. Cette dernière a un poids de 60 % de la note du module.

- Des questions basiques sont posés du types définitions ou informations nécessaires dans ce cours.
- Cet examen comporte toutes les questions abordé en cours et en séances de TD.
- Aussi trouver des solutions a des problèmes similaires discuté en salle sous forme d'exercices.
- En fin, un certain nombre de QCM est prévu de l'ordre 25 % de la note globale de l'examen.

8- Activités d'enseignement-apprentissage

Cette partie contient deux aspects important à savoir :

- Communiquer un maximum d'information et de savoir à l'apprenant, et ce en salle de cours.
- La 2^{ème} partie concerne le travail personnel et aussi le travail à distance mis en place tel que les forums débats, les quiz, les tests des prérequis...

9- Alignement pédagogique

La méthode d'enseignement relative à ce cours est faite de sorte à ce qu'on aboutit aux trois piliers nécessaires pour faire sortir un produit (étudiants) de qualité d'un point de vu savoir.

10- Modalités de fonctionnement

L'étudiant doit être conscient qu'une certaine tenue est fortement recommandée à savoir :

- Garder en tête ce qu'il faut retenir de ce cours surtout ce qu'il doit être capable de faire une fois le programme achevé.
- La participation dans le cours telle que des interventions pour donner un exemple, prendre la parole pour définir une notion proposer par l'enseignants et tout cela doit être pris au sérieux avec une bonne tenue en salle (savoir être et respect mutuel entre étudiant-étudiant et étudiant-enseignant.)
- Le délégué de la promotion s'en charge d'ouvrir une boite mail et communiquer le nom d'utilisateur et le mot de passe à l'ensemble des étudiants ainsi que l'enseignant responsable du module afin de déposer les versions numériques des exposés pour que tout le monde en bénéficie et une éventuelle correction par l'enseignant.
- Sans oublié le travail que l'étudiant est sensé faire comme le travail à la maison (Individuel ou collectif) ou travail en groupe (Exposés)

11- Ressources d'aide

L'étudiant peut consulter les références bibliographiques pour davantage informations :

NB :

- L'ensemble des références utilisées pour l'élaboration du polycopié sont présentées dans la partie Références.
- Les ressources sont mise à jours au fur et à mesures.

Matériaux recyclés

Mon module



Cours Matériaux recyclés

Dr SOULIMANE Ilyas

Légende

-  Entrée du glossaire
-  Abréviation
-  Référence Bibliographique
-  Référence générale

Table des matières



Objectifs	6
Introduction	7
I - Carte conceptuelle	8
1. Carte mentale pour la structuration du plan de cours "Matériaux recyclés"	8
II - Connaissances préalables recommandées	9
1. Test global pour les pré-requis	9
2. Exercice	9
3. Exercice	10
4. Exercice	10
5. Exercice	10
III - Gestion des déchets	11
1. Terminologies	11
1.1. Qu'est-ce qu'un déchet ?	11
1.2. Définition	12
1.3. Les lieux de collecte	12
2. Les lieux de stockage sur site	12
2.1. Volumes maximaux	13
2.2. Durées maximales	13
2.3. Conditions spécifiques de stockage	13
3. Filières de traitement	13
3.1. Possibilités de prétraitement et de traitement interne	13
3.2. Traitement externe	14
4. Coûts dans la gestion des déchets	14
4.1. Coûts du traitement des déchets	14
4.2. Taxes sur les déchets	14
5. Stratégies de gestion des déchets	14
5.1. Récupération et recyclage	15
5.2. Compostage	15
5.3. L'enfouissement technique	16
5.4. Incinération / combustion	16

6. Exercice : tests visant la mesure de compréhension des séquences pédagogiques	17
7. Exercice : tests visant la mesure de compréhension des séquences pédagogiques	17
8. Exercice	17
IV - Évaluation des impacts environnementaux	18
1. Cycle de vie et développement durable	18
1.1. Cycle de vie	19
1.2. Développement durable	19
2. Sous-produits de l'industrie et leurs valorisations dans le génie civil :	19
2.1. Les produits de démolition :	19
2.2. Schistes houillers :	20
2.3. La chaux aérienne :	21
3. Laitiers de haut fourneau, scories d'aciéries et cendres volcaniques :	22
3.1. Laitiers de haut fourneau :	22
3.2. Scories d'aciéries :	25
3.3. Cendres volantes :	26
4. Exercice	26
5. Exercice	26
6. Exercice	27
7. Exercice	27
V - Matériaux recyclés	28
1. Définitions	28
2. Enjeux du recyclage	29
2.1. Avantages	30
2.2. Inconvénients	30
3. Matériaux alternatifs	31
3.1. Exemples d'alternatifs	31
3.2. Utilisation d'énergie	31
4. Gisement et gestion	31
4.1. ACIER ET FERRAILLES	32
4.2. METAUX NON FERREUX	32
4.3. LES INERTES	33
5. Recyclage de l'industrie cimentaire	33
6. Approche environnementale de la production du béton	34
6.1. Les principaux textes applicables	34
6.2. prescriptions réglementaires	35
6.3. Fiches Bonnes Pratiques Environnementales	36
7. Processus de recyclage du papier	37
7.1. INTRODUCTION	37
7.2. DEVENIR DU PAPIER USAGE	37
7.3. PROCESSUS DU RECYCLAGE	37
7.4. LE PROCÉDÉ DE LA FABRICATION PAPETIÈRE	41
7.5. LA FABRICATION DU CARTON	47
7.6. CONCLUSION	49

8. Exercice	49
9. Exercice	50
10. Exercice	50
11. Exercice	50
VI - Valorisation des déchets	51
1. Les boues des stations d'épuration	51
1.1. Types de boues d'épuration	51
1.2. Traitement des boues d'épuration	52
1.3. Techniques de traitement des boues	52
1.4. Réutilisation des boues d'épuration	53
2. Les boues de dragage/curage	53
2.1. Types d'activités de dragage	54
2.2. Évolution des boues de dragage	54
2.3. Manipulation des matériaux	55
2.4. Le Stockage	55
2.5. Le clapage en mer	56
3. Le caoutchouc	56
3.1. Définition	56
3.2. Prévention / Réduction	57
3.3. Gestion et collecte	57
3.4. Valorisation	58
3.5. Procédés de recyclage du caoutchouc	58
3.6. Types de recyclage du caoutchouc	58
Solutions des exercices	61
Glossaire	65
Abréviations	66
Références	67

Objectifs

Prendre conscience aux étudiants l'importance du recyclage des déchets dans le cadre de la protection de l'environnement et du développement durable. Ces derniers seront capables a la fin de se cours de donner a leur entourage des consignes ciblées en relation avec le module.

Introduction



Depuis quelques années nous remarquons, que la qualité de l'air et de la terre se détériore en raison de certains paramètres notamment la pollution et l'accroissement du nombre de déchets. C'est la raison pour laquelle, beaucoup de pays cherchent des alternatives pour remédier à ce problème. C'est ainsi, qu'apparaît la notion de développement durable. Toutefois l'aspect du développement durable que nous avons choisi d'étudier est le recyclage, la valorisation des déchets et leur réutilisation.

L'urbanisation et l'essor économique contribuent à l'amélioration des conditions de vie de l'individu, mais s'accompagnent d'une pollution de diverses natures nécessitant des mesures appropriées pour la neutraliser. D'ailleurs, les plus importantes des pollutions sont d'origine industrielle, commerciale, hospitalière, agricole ainsi que celles qui sont issues de la vie domestique appelés déchets ménagers ou encore ordures ménagères. La pollution engendrée par ce genre de résidu est un problème très préoccupant et il est devenu un sujet d'actualité parce que les détritiques délaissés n'importe où et n'importe comment constituent une véritable menace de notre environnement.

En effet, chaque jour, les ménages rejettent des tonnes de déchets, reflète de la consommation courante. Il s'agit de nourriture ou de produits de la vie quotidienne. Cette quantité colossale d'ordures accumulées est à l'origine d'une multitude de nuisances dont les effets négatifs sont ressentis par la faune, la flore et l'homme. Si, dans les pays industrialisés, la gestion constitue déjà une activité économique très importante et convoitée, en Algérie par contre, la problématique des résidus n'est pas encore prise en charge. Les difficultés actuelles peuvent être attribuées à des facteurs multiformes d'ordre organisationnel, technique, institutionnel, éducationnel et à un manque d'information et de sensibilisation.



Carte conceptuelle

Carte mentale pour la structuration du plan de cours "Matériaux recyclés"

8

1. Carte mentale pour la structuration du plan de cours "Matériaux recyclés"

Master :2 Semestre: 3

Module: Matériaux recyclés

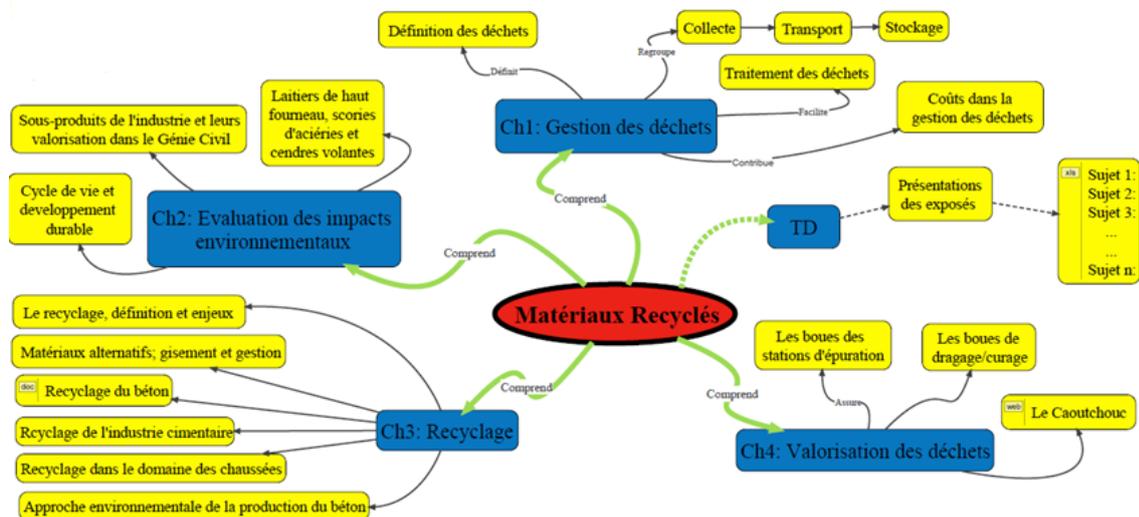
Nom de l'enseignant: Dr SOULIMANE Ilyas

Connaissances préalables: MDC; Technologie du béton; Bétons innovants

VHS: 45h00 (Cours:1h30, TD:1h30)

Crédits: 4 Coefficient: 2

Mode d'évaluation: 40% Contrôle continu; 60% examen



Connaissances préalables recommandées



Test global pour les pré-requis	9
Exercice	9
Exercice	10
Exercice	10
Exercice	10

L'étudiant inscrit en Master 2 spécialité matériaux de constructions est sensé maîtrisé le module du MDC, Technologie du béton et Bétons innovants.

1. Test global pour les pré-requis

Conseil

Il est fortement recommandé de revoir les cours ci-haut inculqué avant d'entamer le test et le module en question.

2. Exercice

[solution n°1 p.61]

Donner la fourchette de dimension des granulats.

Les granulats sont tous les grains minéraux ayant n'importe quel calibre.

Les granulats c'est l'ensemble de grains minéraux appelés, fines, sables, gravillons ou cailloux, suivant leur dimension comprise entre 0 et 80mm.

Les granulats c'est l'ensemble de grains minéraux appelés, fines, sables, gravillons ou cailloux, suivant leur dimension comprise entre 0 et 100mm.

Gestion des déchets



Terminologies	11
Les lieux de stockage sur site	12
Filières de traitement	13
Coûts dans la gestion des déchets	14
Stratégies de gestion des déchets	14
Exercice : tests visant la mesure de compréhension des séquences pédagogiques	17
Exercice : tests visant la mesure de compréhension des séquences pédagogiques	17
Exercice	17

Les déchets sont l'un des meilleurs indicateurs de la vitalité économique et du mode de vie d'une société.

La croissance de la production et le développement, toujours plus rapide, de biens de consommation ont marqué en profondeur la structure socio-économique des pays industrialisés ; une société de gaspillage est née en l'espace d'un demi-siècle. Les instances politiques essaient de modifier l'approche que l'on a des produits et des déchets en recourant à de nouveaux instruments, basés sur l'incitation financière. Hormis ceux que l'on conserve dans des musées, tous nos biens de consommation finissent leur vie sous la forme de déchets. Il n'y a pas de doute, la propension à la consommation et au gaspillage dépend étroitement du pouvoir d'achat et de la prospérité d'une société.

1. Terminologies

Explications des principaux termes du module.

1.1. Qu'est-ce qu'un déchet ?

Un déchet au sens du présent chapitre 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.

"Est ultime au sens du présent chapitre un déchet, résultant ou non du traitement d'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."

1.2. Définition

Le déchet est caractérisé par son origine, le procédé qui l'a généré et son utilisation au sens d'usage et de consommation.

Un déchet est défini comme un objet ou une matière dont la valeur économique est nulle ou négative pour son détenteur.

1.3. Les lieux de collecte

Ils doivent être dégagés, installés le plus près possible des usagers, adaptés à la quantité de déchets produits, et d'un abord facile pour les prestataires ; ils ne doivent pas générer de nuisances et être nettoyés fréquemment.

Attention

Il faut séparer les DIB^{p.66 AA} des DIS^{p.66 AA}, et à l'intérieur de ces catégories, séparer chaque type de déchets en fonction de leurs risques propres et de leur filière d'élimination.

2. Les lieux de stockage sur site

Ils doivent faire l'objet d'une attention particulière pour éviter qu'ils ne deviennent "une sorte de décharge" pouvant générer des désagréments et des nuisances :

- Pour les *déchets industriels banals*, ils doivent être fermés. Il est conseillé de se référer à l'arrêté type du 2 avril 1997 relatif aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à déclaration sous la rubrique n° 2710. Cette rubrique est destinée aux déchetteries^{p.65} des collectivités aménagées pour la collecte des encombrants, matériaux ou produits triés et apportés par le public. Bien que les établissements ne soient pas soumis à ces obligations, les dispositions inscrites dans cet arrêté sont de bonnes références pour mettre en place et exploiter un lieu de stockage provisoire.
- Pour les *déchets dangereux*, les stockages temporaires, avant recyclage ou élimination des déchets spéciaux, sont effectués sur des aires étanches et aménagées pour la récupération des fuites éventuelles. Il est conseillé de se référer, en fonction de leurs caractéristiques et de leurs quantités, aux arrêtés types relatifs aux prescriptions générales applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement, soumises à déclaration.

2.1. Volumes maximaux

Sauf cas particuliers explicitement cités, les volumes de déchets chimiques stockés doivent respecter les capacités de stockage des locaux destinés à cet usage (éviter l'empilement, l'encombrement des issues, s'assurer de la stabilité du stockage ...).

2.2. Durées maximales

La durée maximale de stockage des déchets chimiques est fonction de différents paramètres: la réactivité, la quantité, les conditions de stockage, ...

Le stockage doit être effectué en rotation pour éviter des entreposages prolongés qui génèrent le vieillissement des matières et la formation possible de sous-produits instables, la détérioration des emballages et des produits d'inertage, l'effacement de l'étiquetage, la rupture des joints d'étanchéité. Dans tous les cas, la durée maximale de stockage doit rester inférieure à un an. Il est nécessaire de procéder à l'enlèvement des déchets par une société agréée de façon régulière et de prévoir un enlèvement avant la période de congés estivaux.

2.3. Conditions spécifiques de stockage

Les déchets chimiques doivent être stockés sous clé, dans un local conforme à la réglementation en vigueur, et notamment ventilé, à l'écart des sources de chaleur et d'ignition, et muni de bacs de rétention.

Le local doit en outre être équipé de moyens de lutte contre le feu, facilement accessibles pour l'intervention des secours, d'une réserve d'absorbant, et d'une douche de sécurité.

Le local de stockage doit être balisé (« stockage de produits inflammables et toxiques », « interdiction de fumer », ...), et comporter des consignes de sécurité lisibles.

Tout local de stockage extérieur doit être éloigné des bâtiments en respectant une distance de séparation déterminée selon les risques de proximité et le volume des matières inflammables entreposées. Il doit être de préférence implanté hors vents dominants par rapport à l'environnement sensible, afin d'éviter la transmission du feu et les intoxications dues à des gaz et vapeurs toxiques. Une inspection régulière des locaux de stockage doit être effectuée.

3. Filières de traitement

3.1. Possibilités de prétraitement et de traitement interne

- La distillation des solvants présente des risques importants d'inflammabilité et d'explosivité. Elle doit être en principe proscrite.

3.2. Traitement externe

- Incinération des liquides organiques dans un centre d'incinération autorisé.
- Régénération industrielle possible s'ils contiennent moins de 30 % d'impuretés et si les quantités en jeu sont importantes.

4. Coûts dans la gestion des déchets

L'aspect économique joue un rôle très important dans la gestion des déchets où, le coût total de cette procédure comprend non seulement les contenus et les contenants, puisqu'il est déterminé en fonction du poids total à éliminer s'il s'agit de déchets chimique.

4.1. Coûts du traitement des déchets

Tel que mentionné ci-haut le coût du traitement des déchets comprend 4 aspects importants à savoir la récupération des quantités (poids, volumes) inutilisable, type de déchets (biodégradable, toxique, radioactif..), le transport, le stockage et les méthodes de traitement (recyclage, incinération...). Tous ces paramètres doivent être pris en compte pour évaluer le coût total des déchets.

4.2. Taxes sur les déchets

Il existe plusieurs taxes liées aux déchets ou aux rejets :

- Pour la collecte et le traitement des DIB par les communes.
- Pour le stockage et l'élimination des DIB et des DIS.
- Pour les rejets dans les eaux.

Ces taxes prévue par le code général des impôts (donc fiscale) est instituée par certaines communes qui assurent au moins la collecte des déchets ménagers. Ils sont destinés au financement des charges du service public d'assainissement. Elle est assise sur la quantité d'eau consommée et est due par tous les établissements. Cette participation peut être exigée pour l'obtention d'une autorisation de rejet d'eaux autres que domestiques dans le réseau d'assainissement collectif. Cette redevance est due par certains établissements qui rejettent des eaux chargées de certaines catégories de polluants.

5. Stratégies de gestion des déchets

La politique de gestion des déchets s'inscrit dans la stratégie nationale environnementale (SNE), ainsi que dans le plan national d'actions environnementales et du développement durable (PNAE-DD) qui s'est concrétisée par la promulgation de la loi 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, traitant des aspects inhérents à la prise en charge des déchets, et dont les principes sont :

- la prévention et la réduction de la production et de la nocivité des déchets à la source ;
- l'organisation du tri, de la collecte, du transport et du traitement des déchets ;
- la valorisation des déchets par leur réemploi et leur recyclage ;
- le traitement écologiquement rationnel des déchets ;
- l'information et la sensibilisation des citoyens sur les risques présentés par les déchets et leurs impacts sur la santé et l'environnement ;

Bien qu'il existe de nombreuses méthodes pour éliminer les déchets. Voyons quelques-unes des méthodes les plus couramment utilisées que vous devriez connaître en matière de gestion des déchets.

5.1. Récupération et recyclage

La récupération des ressources est le processus consistant à prendre des éléments jetés utiles pour une prochaine utilisation spécifique. Ces éléments jetés sont ensuite traités pour extraire ou récupérer des matériaux et des ressources ou les convertir en énergie sous forme de chaleur, d'électricité ou de combustible utilisable.

Le recyclage est le processus de conversion des déchets en nouveaux produits pour éviter la consommation d'énergie et la consommation de matières premières fraîches. Le recyclage est le troisième élément de la hiérarchie Réduire, réutiliser et recycler les déchets. L'idée derrière le recyclage est de réduire la consommation d'énergie, de réduire le volume des décharges, de réduire la pollution de l'air et de l'eau, de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de préserver les ressources naturelles pour une utilisation future.

5.2. Compostage

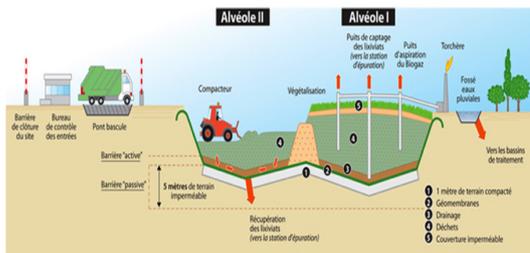
Le compostage est un processus de biodégradation facile et naturel qui prend les déchets organiques, c'est-à-dire restes de plantes et de déchets de jardin et de cuisine et se transforment en aliments riches en nutriments pour vos plantes. Le compostage, normalement utilisé pour l'agriculture biologique, se produit en permettant aux matières organiques de rester au même endroit pendant des mois jusqu'à ce que les microbes le décomposent. Le compostage est l'une des meilleures méthodes d'élimination des déchets, car il peut transformer des produits biologiques dangereux en compost sûr. De l'autre côté, c'est un processus lent et prend beaucoup de place.



le compostage

5.3. L'enfouissement technique

Les déchets spéciaux ultimes sont ceux qui sont plus susceptibles d'être traités dans les conditions techniques et économiques du moment, notamment par l'extraction de la partie valorisable ou par la réduction de leur caractère dangereux et polluant. Les déchets admis en centre d'enfouissement technique (CET) sont des déchets essentiellement solides, minéraux avec un potentiel polluant constitué de métaux lourds peu mobilisables. Ils sont très peu réactifs, très peu évolutifs et très peu solubles.



Enfouissement technique

5.4. Incinération / combustion

L'incinération ou la combustion est une méthode d'élimination pour laquelle les déchets solides municipaux sont brûlés à des températures élevées afin de les convertir en résidus et en produits gazeux. Le plus grand avantage de ce type de méthode est qu'il permet de réduire le volume de déchets solides de 20 à 30% du volume d'origine, diminue l'espace qu'ils occupent et réduit l'encombrement sur les décharges.

Ce processus est également connu sous le nom de traitement thermique où les déchets solides sont convertis par les incinérateurs en chaleur, gaz, vapeur et cendres. L'incinération est quelque chose de très répandu dans les pays où l'espace de décharge n'est plus disponible, y compris le Japon.



Schéma de l'usine d'incinération

6. Exercice : tests visant la mesure de compréhension des séquences pédagogiques

[solution n°5 p.62]

Que signifie l'abréviation DIS

- Dommages industriels spéciaux
- Déchets industriels spéciaux.
- Déchets internes saturés

7. Exercice : tests visant la mesure de compréhension des séquences pédagogiques

[solution n°6 p.62]

Incinérer signifie enfouir dans la terre

- Vrais
- Faux

8. Exercice

[solution n°7 p.62]

Les lieux de collecte doivent être dégagés et installés le plus près possible des usagers

- pour être en contact avec le milieu extérieur
- Pour éviter les explosions au moment des incendies
- pour faciliter le dépôt des déchets des utilisateurs.

Évaluation des impacts environnementaux

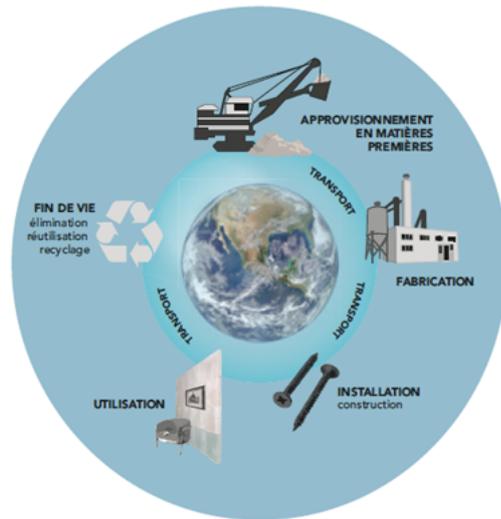
IV

Cycle de vie et développement durable	18
Sous-produits de l'industrie et leurs valorisations dans le génie civil :	19
Laitiers de haut fourneau, scories d'aciéries et cendres volcaniques :	22
Exercice	26
Exercice	26
Exercice	27
Exercice	27

La protection de l'environnement devient de plus en plus une préoccupation collective. La question des déchets est quotidienne et touche chaque être humain tant sur le plan professionnel que familial. En qualité de consommateur, producteur, usager du ramassage des ordures et trieur de déchets recyclables, citoyen ou contribuable, chacun peut et doit être acteur d'une meilleure gestion des déchets dans le but environnementale. Dans une vision intégrée de développement durable, la problématique des déchets ne peut pas être traitée comme un objet isolé, ni même se limiter aux seuls aspects de valorisation et d'élimination. Elle doit être placée dans une perspective holistique de gestion des risques et des ressources, qui couvre tout le cycle de vie du déchet, depuis sa génération jusqu'au traitement ultime. Elle anticipe le déchet dès le stade projet, inclut les stratégies de réduction à la source, de valorisation et d'élimination et vise à la maîtrise des flux tout au long du procédé aboutissant au déchet. On évitera dans la mesure du possible de produire des déchets à la source. Pour ce faire, on doit privilégier les procédés de production générant peu de déchets, fabriquer des biens à longue durée et optimiser les emballages. On doit éviter ou limiter dans la mesure du possible le recours aux substances polluantes, dans les produits comme dans les procédés de recherche et de fabrication, afin de faciliter les étapes ultérieures du traitement et de la valorisation des déchets.

1. Cycle de vie et développement durable

1.1. Cycle de vie



Cycle de vie des matériaux.

1.2. Développement durable

On valorisera les déchets lorsque cette solution semble écologiquement avantageuse et économiquement défendable. La valorisation est judicieuse au plan écologique lorsqu'elle engendre une pollution de l'environnement moindre que l'élimination des déchets et la fabrication de nouveaux produits. A long terme, seules les substances aptes au stockage définitif pourront être mises en décharge.

La gestion des déchets commence dès leur gestation. Dans une vision intégrée de développement durable, la problématique des déchets ne peut pas être traitée comme un objet isolé, ni même se limiter aux seuls aspects de valorisation. La gestion anticipe le déchet dès le stade projet, inclut les stratégies de réduction à la source, de valorisation et d'élimination et vise la maîtrise des flux tout au long du procédé aboutissant au déchet.

2. Sous-produits de l'industrie et leurs valorisations dans le génie civil :

Exemples de sous-produits issus de l'industrie :

2.1. Les produits de démolition :

Chaque année, les activités du bâtiment et des travaux publics génèrent plus de 100 millions de tonnes de matériaux de démolition et de déblais considérés, dans la plupart des cas, comme des déchets inertes.

L'emploi de ces matériaux, aujourd'hui envisagé après leur dépollution et leur recyclage, a très vite été

considéré comme une priorité, car cela présente au moins trois avantages majeurs que sont les économies de : décharges (volume de stockage des déchets inertes) ; carrières (ressources naturelles de granulats) ; transport.

Dans le contexte des Travaux Publics, les matériaux proviennent essentiellement de la démolition de bâtiments (d'habitation ou industriels), d'ouvrages en béton, de chaussées.

Les catégories comportant, ou pouvant présenter le danger de contenir des éléments susceptibles d'engendrer des désordres sur nos ouvrages (plâtres pouvant créer des phénomènes de gonflements, par exemple), ne sont pas systématiquement valorisées par les entreprises de Travaux Publics.

Le recyclage des matériaux de démolition qui nécessite des installations onéreuses, est essentiellement effectué dans le but de les substituer aux matériaux naturels pour la fourniture des granulats, ou graves utilisables dans les techniques de terrassement ; les techniques routières ; les techniques ferroviaires ; les techniques aéroportuaires ; et dans les plates-formes industrielles, etc.

Le recyclage des matériaux de démolition est donc utilisé pour pallier des pénuries de matériaux naturels, notamment pour des travaux à proximité ou dans les grandes agglomérations. De ce fait, les unités de fabrication sont, elles aussi, essentiellement localisées autour des grandes villes, ou à proximité de pôles industriels.

2.2. Schistes houillers :

Les schistes houillers proviennent des résidus de l'extraction du charbon.

L'extraction du charbon s'est arrêtée progressivement en France jusqu'à la fermeture de la quasi-totalité des sites miniers à la fin des années 1990. De très nombreux et importants terrils de stockage des schistes constitués durant l'exploitation des mines subsistent depuis plusieurs décennies. Les terrils sont caractéristiques des paysages des régions minières et font partie de leur patrimoine.

Dans le présent article, nous nous intéressons à l'exploitation et à la valorisation des ressources en matériaux que représentent les schistes houillers contenus dans les terrils. Les services publics nationaux et régionaux concernés encouragent l'utilisation de ces stocks, car elle participe à la résolution simultanée de plusieurs enjeux forts :

un enjeu économique régional ou local : l'emploi pertinent de ces sous-produits dans le BTP^{p.66} ^{AA} ;

un enjeu environnemental : les aménagements des terrils, qui réclament des dispositions conséquentes – de mise en sécurité, de protection contre l'érosion, paysagères... – sont facilités en cours et fin d'exploitation ;

une contribution notable au développement durable, notamment par la diminution des recours à des carrières éloignées et des transports induits.

Les terrils qui représentaient près de 1 milliard de tonnes de schistes houillers ont été exploités pour un quart environ.

Les techniques d'utilisation des schistes houillers sont toujours d'actualité mais en déclin, notamment en raison de la diminution des sous-produits de meilleure qualité.

Suivant leurs caractéristiques, les matériaux sont employés en confection : de remblais dont des remblais insensibles à l'eau ; de couches de forme ou d'assises de chaussées, le plus souvent dans les domaines routiers et autoroutiers ; de plates-formes logistiques et VRD^{p.66 AA} ; parfois dans le domaine ferroviaire dont les LGV.

L'utilisation des schistes houillers s'appuie sur les classifications et les recommandations du guide GTR^{p.66 AA} « Réalisation des remblais et des couches de forme ».

Cf. ""

2.3. La chaux aérienne :

Le terme chaux est un terme générique désignant l'oxyde et/ou l'hydroxyde de calcium et l'oxyde et/ou l'hydroxyde de calcium et de magnésium provenant de la décomposition thermique (calcination) de carbonate de calcium (calcaire, craie, coquillages, etc.), ou de carbonate de calcium et de magnésium (calcaire dolomitique, dolomite).

La chaux aérienne répond à cette définition générale. Elle doit son qualificatif à la propriété qu'à l'hydroxyde de se carbonater au contact du gaz carbonique de l'air et de contribuer ainsi à la résistance et à la durabilité des mortiers.

On distingue la chaux aérienne calcique, obtenue à partir de carbonate de calcium, et la chaux aérienne dolomitique, obtenue à partir de carbonate mixte de calcium et de magnésium. Du fait de la pureté des calcaires d'origine, les chaux aériennes n'ont pas de propriétés hydrauliques. Elles ne doivent donc pas être confondues avec les chaux hydrauliques dont l'usage est essentiellement réservé à la fabrication d'enduits et de mortiers pour le bâtiment.

L'utilisation de chaux aérienne, dans le domaine du Génie Civil, est conditionnée par le respect de la Directive européenne sur les produits de construction qui impose, entre autres, la conformité à la norme NF EN 459 : Chaux de construction. Cette norme distingue deux catégories de chaux aériennes pour la construction :

calcique (notation CL) qui comprend : l'oxyde de calcium : CaO , l'hydroxyde de calcium : Ca(OH)_2 ;
dolomitique (notation DL) qui comprend : l'oxyde de calcium et de magnésium : CaO.MgO , l'hydroxyde de calcium et de magnésium : $\text{Ca(OH)}_2.\text{Mg(OH)}_2$.

Les chaux aériennes sont sans addition de composants dotés de propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques et elles peuvent se présenter sous deux formes :

chaux vive (notation Q) qui existe sous forme d'oxyde et réagit de façon exothermique avec l'eau ;

chaux hydratée – également qualifiée d'éteinte – (notation S) essentiellement sous forme d'hydroxyde obtenu par hydratation – ou extinction – contrôlée de l'oxyde. La chaux hydratée est disponible à l'état de poudre d'une part, et en suspension dans l'eau, d'autre part. Dans ce dernier cas, on obtient, du plus concentré au plus dilué, une pâte, un coulis ou un lait de chaux.

Exemple

L'exemple suivant montre le pouvoir calorifique fourni via les déchets d'emballage récupérés.

Matériaux	PCI matériaux purs	PCI déchets emballages
PE	46	22
PET	45	13
PP	44	NP
PVC	20	12

PCI = pouvoir calorifique inférieur

3. Laitiers de haut fourneau, scories d'aciéries et cendres volcaniques :

3.1. Laitiers de haut fourneau :

Les sujets portants sur les laitiers de haut-fourneau font l'objet de deux articles :

Le présent paragraphe expose l'origine, la nature et les propriétés de ces sous-produits industriels en vue de leur emploi dans le génie civil, et plus particulièrement dans les techniques routières. Il existe des possibilités d'emploi de ces matériaux en fonction des prescriptions techniques et environnementales, et fournit des références de commercialisation et de chantiers.

Les laitiers de haut-fourneau (LHF) sont des sous-produits de la sidérurgie. Ils sont générés au cours de la production de l'acier, lors de l'étape de l'élaboration de la fonte à partir de minerai de fer. Selon le processus de refroidissement du laitier en fusion, on distingue deux familles :

3.1.1. Le laitier cristallisé :

Ce type résulte du refroidissement lent à l'air libre du laitier obtenu 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.

Le laitier cristallisé est typiquement gris et généralement poreux, avec une masse volumique absolue au voisinage de 3 t/m³. La granulométrie du laitier cristallisé brut est de l'ordre de 0/300 mm lors de son extraction des fosses, après fragmentation par arrosage. Il dispose de propriétés physiques particulières à savoir une résistance mécanique élevée associée à une conductivité thermique faible.

Les principaux composants chimiques de ces laitiers sont la chaux libre (CaO, environ de 40%), la silice (SiO₂, environ de 35%), l'alumine (Al₂O₃, environ de 11%) et la magnésie (MgO, environ de 8%).



Laitier cristallisé

3.1.2. Le laitier vitrifié :

Ce laitier résulte d'un arrosage violent (refroidissement) 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». Le dispositif dans lequel se survienne cette opération est dit «granulateur ».

Une autre variante de trempe du laitier en fusion donne un laitier vitrifié, elle consiste à le tremper à l'air en le pulvérisant. Le produit obtenu s'appelle laitier bouleté.

Ces différentes sortes de laitiers vitrifiés ne présentent pas de grandes différences en termes de leur composition. Ils se présentent sous forme de sables de couleur jaune /beige .La granulométrie moyenne est de 0/5 mm, et la composition chimique est la même que les laitiers cristallisés,

Environ de 40% de la chaux, 35 % de la silice, 11 % de l'alumine et 8 % de la magnésie ainsi que d'autres éléments chimiques mineurs.

La caractéristique la plus marquante de ce laitier est sa réactivité ou «Hydraulicité », c'est-à-dire sa capacité à faire prise en présence d'eau et d'un agent basique activant. Cette particularité rend ce laitier très demandé dans l'industrie cimentière afin de garantir la teneur d'aluminates qu'est essentielle à la qualité du ciment ; La granulation a été utilisée à l'origine comme moyen de fragmentation du laitier pour faciliter sa manutention. Elle se faisait très simplement en déversant le jet de laitier liquide dans un bassin rempli d'eau.



Le laitier vitrifié

Complément

Les hauts-fourneaux ont une longue histoire... Elle nous est bien contée dans l'ouvrage de référence « Le laitier de haut fourneau » des ingénieurs Jacques Alexandre et Jean-Louis Sébilleau (1988). Les origines de la sidérurgie sont très anciennes, elles remontent à l'antiquité. Les premiers hauts-fourneaux datent du moyen âge, et l'on peut parler de modernité dès le milieu du 19^e siècle.

Les laitiers de haut-fourneau ont longtemps constitué un produit dont on cherchait à se défaire, et que l'on évacuait sur des lieux de stockage qui sont devenus des « crassiers historiques », de volume très important.

Grâce aux progrès des techniques, ils sont passés de ce statut négatif, à celui d'un coproduit de la sidérurgie, dont l'éventail des propriétés est aujourd'hui apprécié et recherché.

Le laitier de haut-fourneau fait parti des laitiers sidérurgiques avec les autres coproduits des différentes filières de fabrication de l'acier, à savoir les laitiers d'aciérie. Toutefois, il nous est apparu utile de fournir ci-haut une présentation sommaire des différents laitiers sidérurgiques, à travers notamment les sources de production. Les exposés qui suivent concernent l'origine, la formation et les caractérisations physico-chimiques, et géotechniques des LHF sous leurs différentes formes, en vue de leur emploi dans le Génie Civil, et plus particulièrement, dans les techniques routières.

Les exposés sur les laitiers de haut-fourneau font l'objet de deux articles :

- la nature et les propriétés de ces sous-produits industriels, en vue de leur emploi dans le Génie Civil notamment dans les techniques routières.
- les possibilités d'emploi de ces matériaux en fonction de prescriptions techniques et d'aspects environnementaux

Les techniques de traitement des laitiers ont permis une utilisation de plus en plus importante des LHF sous ses différentes formes (cristallisé, vitrifié), en particulier dans les techniques routières.

La valorisation des LHF a d'abord pris forme dans les années 1960 par une utilisation très importante de graves-laitier, puis de sables-laitier. Les caractéristiques remarquables que procure l'hydraulicité du laitier sous sa forme vitrifiée ont suscité ces nombreuses utilisations, à l'origine de leur succès en technique routière.

À partir des années 2000, la valorisation des LHF a trouvé sa majeure part dans la fabrication de liants à partir de LHF vitrifiés, généralement granulés et pré-broyés, entrant dans la composition de liants hydrauliques routiers et de ciments.

Aujourd'hui, les LHF de fraîche production sont valorisés à près de 100 %, et les laitiers cristallisés des crassiers historiques sont exploités pour fournir des granulats de qualité. D'une façon générale, leur utilisation dans les travaux publics, et plus particulièrement dans les infrastructures routières, est largement justifiée au plan économique.

3.2. Scories d'aciéries :

Les laitiers d'aciérie sont des coproduits de l'industrie sidérurgique, ils sont considérés comme déchets. Toutefois, l'envisagement de la valorisation de ces matériaux dans le domaine du BTP^{p.66} et de la fabrication des matériaux de construction leur donne tendance de sortir du statut de déchet et de devenir une source de matières premières.

3.2.1. Laitiers d'aciéries de conversion (LAC) :

Le laitier d'aciérie de conversion est le sous-produit de l'opération de conversion de la fonte en acier. Après séparation entre ces deux produits (acier et LAC) par gravimétrie, ce dernier est transporté et vidé dans des fosses de refroidissement. L'existence de plusieurs fosses permet d'effectuer un tri du laitier en fonction de sa teneur en CaO. Après refroidissement du LAC, on obtient une roche artificielle de couleur grise foncée. Très dur et très résistante à l'usure et à l'écrasement. Cette roche a une densité de l'ordre de 20 à 25 % supérieure à celle du basalte ou du laitier de haut-fourneau cristallisé. Les principaux composants chimiques des LAC sont la chaux (environ 50%), le fer (15% environ), la silice (12 % environ), et la magnésie (5% environ).

Le LAC peut être sujet à des modifications dimensionnelles (expansion) du fait de la chaux libre (CaO) contenue dedans. Néanmoins, l'hydratation de celle-ci en chaux éteinte Ca(OH)_2 et / ou les réactions de carbonatations naturelles (CaCO_3) permettent de réduire cette instabilité qui conditionne sa valorisation, surtout dans le domaine du BTP.

3.2.2. Laitiers d'aciéries électriques (LAE)

Les aciéries électriques utilisent deux procédés (carbone ou inox), permettant d'avoir deux types d'acier. Les différents laitiers d'aciéries électriques cités ci-avant, accompagnant la production de ces aciers disposent chacun de propriétés particulières. Deux types de laitiers d'aciéries électriques sont disponibles à savoir :

- Laitiers issus de l'élaboration de l'acier électrique "carbone"
- Laitiers issus de l'élaboration de l'acier inoxydable "inox"

Les principales caractéristiques physiques des laitiers d'aciérie sont :

- La résistance à l'usure (essai micro-Deval entre 6 et 12).

- Résistance à la fragmentation (coefficient Los angles entre 10 et 20).
- Résistance à la compression simple (environ 80 MPa).

3.3. Cendres volantes :

Les cendres volantes sont les résidus de la combustion du charbon dans les centrales thermiques.

L'importance des productions de cendres dépend de la politique énergétique du pays concerné. Les sous-produits industriels que constituent les cendres volantes, sont disponibles en grandes quantités dans le monde.

A travers le monde, le charbon dont les réserves sont encore extrêmement importantes constitue la première ressource utilisée pour la production de l'électricité.

En France, la production d'électricité n'est fournie actuellement qu'à hauteur de 4 % par les centrales thermiques à flammes fonctionnant au charbon. Depuis l'épuisement des ressources françaises, le charbon est importé pour ces besoins depuis différents pays.

La modernisation des centrales thermiques, les techniques nouvelles, dites de « charbon propre », participent à réduire les effets polluants de la combustion des charbons. Les cendres volantes ont des caractéristiques remarquables comme le pouvoir pouzzolanique. Ces propriétés en font des produits très intéressants pour la construction.

4. Exercice

[solution n°8 p.62]

La procédure de recyclage commence

- Dès l'extraction de la matière première
- A partir du moment où nous récoltons les déchets

5. Exercice

[solution n°9 p.63]

Le laitier cristallisé est obtenu par :

- un refroidissement lent qui le transforme en une roche dure
- un refroidissement brutal qui lui confère une structure vitreuse

6. Exercice

[solution n° 10 p.63]

Que signifie l'abréviation DIS

- Déchets industriels spéciaux
- Dommage industriels spéciaux
- Déchets interne saturés

7. Exercice

[solution n° 11 p.63]

les catégories de recyclage sont

- Le recyclage mécanique
- Le recyclage thermique
- Le recyclage organique
- Le recyclage chimique

Matériaux recyclés

V

Définitions	28
Enjeux du recyclage	29
Matériaux alternatifs	31
Gisement et gestion	31
Recyclage de l'industrie cimentaire	33
Approche environnementale de la production du béton	34
Processus de recyclage du papier	37
Exercice	49
Exercice	50
Exercice	50
Exercice	50

Depuis quelques années, nous remarquons que la qualité de l'air et de la terre se détériore en raison de certains paramètres, dont notamment la pollution et l'accroissement du nombre de déchets. C'est pour cela qu'actuellement, de nombreux pays cherchent des alternatives pour pallier à ce problème. C'est ainsi, qu'apparaît la notion de développement durable, avec par exemple sur le plan énergétique, l'apparition des éoliennes ou de la géothermie. Cependant l'aspect du développement durable que nous avons choisi d'étudier est le recyclage, la valorisation des déchets et leur réutilisation.

1. Définitions

Le « recyclage » est la création de nouvelles matières, ou le renouvellement des matières initiales, par le biais du traitement des déchets, (cela comprend le recyclage organique mais pas le recyclage énergétique).

Le recyclage des produits en fin de vie passe par l'organisation de filières spécialisées permettant à toutes les entreprises et/ou tous les particuliers de permettre la récupération des déchets. Ci-dessous est représenté un schéma simplifié du processus de recyclage, qui va de la collecte à la fabrication d'un nouveau produit issu des déchets.

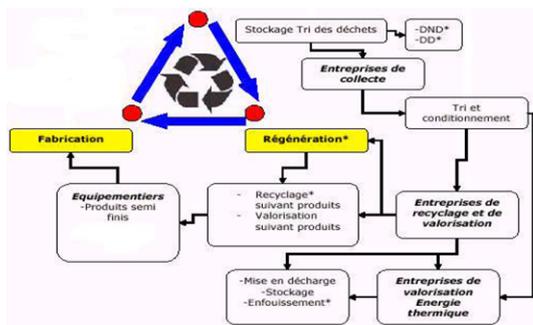


Schéma simplifié du processus de recyclage

Cependant, pour éviter des problèmes de pollution, le processus de recyclage est soumis à des règles très précises. Ainsi des normes ISO ont été mises en place pour se conformer aux directives européennes qui souhaitent la diminution des déchets et également leur revalorisation. (Exemple de la famille ISO 14000, concernant la gestion de l'environnement, sont mises en place pour réduire les effets dommageables de l'activité des entreprises sur l'environnement).

Toutes ces normes dont la liste est très fournie, peuvent s'appliquer à tout type d'entreprises, tout secteur d'activité, ou tout organisme (quel que soit le produit ou le service réalisé).

Il existe plusieurs catégories de recyclage, par exemple : le recyclage mécanique qui permet d'obtenir une matière homogène qui est ensuite remoulée, le recyclage organique ou compostage, fréquemment employé en agriculture, le recyclage dit « chimique », pour lequel des réactions chimiques permettent de séparer les composants.

Les matériaux recyclables sont repérables grâce au célèbre ruban de Möbius, logo universel de ces matériaux depuis 1970.



Ruban de Möbius relatif aux matériaux recyclage.

2. Enjeux du recyclage

Le recyclage des matériaux touche un peu près tous les domaines (automobiles, bâtiments, agriculture ...), cependant, pour chaque matière ou matériau recyclé nous n'aurons pas que des bénéfices mais

aussi des contraintes. Cet éventail se résume pour quelques matériaux en :

2.1. Avantages

Pour le verre :

-Moins de frais de transport : le sable, la chaux et la soude ne sont pas produits sur le même site et la fabrication traditionnelle nécessite au moins trois transports distincts. Dans le cas du recyclage, tous les composants sont présents.

-Les frais de fusion sont également inférieurs dans le cas du recyclage: le calcin fondant à une température inférieure à celle requise pour les matières premières, la fabrication du verre à partir de ce dernier permet une économie d'énergie de l'ordre de 30%.

-Il est générateur d'emploi puisque on estime à 10 000, le nombre d'emplois dans la filière.

Pour le papier :

-L'économie de matière première: une tonne de papier et/ou carton permet d'obtenir à quelques kilogrammes près la même quantité de pâte à papier alors que trois tonnes de bois seraient nécessaires.

-L'économie réalisée sur les moyens de traitement: les opérations de coupe, de broyage, de cuisson, de défibrage, de lavage et de raffinage, indispensables dans le cas du bois, ne sont pas nécessaires dans le cas du recyclage.

2.2. Inconvénients

Pour le verre :

- Le recyclage du verre demande, de la part du public producteur, un soin particulier lors du dépôt : en effet, la présence d'impuretés comme les bouchons, débris d'autre nature, mais assimilés à du verre (céramique, porcelaine) compromettent la bonne marche de la chaîne de production. Il y a donc des tris automatiques pour séparer les indésirables, mais cela occasionne un surcoût supplémentaire.

- le rapport poids-volume génère une augmentation du prix de revient à comparer avec le plastique.

- La concentration en plomb dans les emballages en verre a tendance à augmenter au cours des traitements successifs.

Pour le papier :

- Les papiers d'origines ménagères sont encore souvent jetés avec d'autres déchets et sont souvent souillés. Ils ne peuvent alors être traités que par incinération.

- Les tétra-packs : 95 % de carton, un film d'aluminium et un film plastique extérieur. Il est difficile de séparer ces trois éléments qui ne peuvent être valorisés dans les mêmes filières. Il existe des solutions, mais beaucoup plus coûteuses que pour le carton ordinaire.

- La perte progressive de qualité : plusieurs recyclages successifs broient totalement les fibres et le

papier obtenu est de moins en moins résistant.

3. Matériaux alternatifs

Introduction

En raison de la surconsommation humaine concernant la biodiversité, les ressources végétales (déforestation, prélèvement végétal), des ressources pétrolières, l'extinction des espèces mais aussi les minerais et matières premières ; le risque d'épuisement des ressources est loin d'être négligeable. Ce raisonnement a donné naissance aux réflexes du recyclage mais aussi à l'utilisation des matériaux alternatifs.

3.1. Exemples d'alternatifs

Construction

- Bois, paille, carton, les matériaux alternatifs au traditionnel béton ont le vent en poupe. "La construction de maisons en paille fait fureur puisqu'en France, on en trouve plus de 500 bâtiments en paille se construisent chaque année. Et contrairement aux idées reçues, c'est un matériau solide, qui résiste au feu, très bon isolant et en plus, c'est écologique.
- Si l'on construisait avec de la lumière. "C'est le pari d'une entreprise austro-hongroise, qui a créé un béton translucide, où la lumière passe en ombres chinoises grâce à des fibres optiques, c'est plus cher qu'un béton ordinaire, mais c'est tout aussi solide".
- Encore plus surprenantes, les maisons en carton font leur apparition. "Une entreprise a créé un matériau très innovant: des plaques en carton et polystyrène. Dans le Morbihan, plusieurs maisons ont vu le jour et ont même résisté à plusieurs tempêtes".
- Finite, l'alternative au béton en sable du désert : Construire les bâtiments du futur avec les dunes du Sahara...C'est la vision des créateurs du Finite, un nouveau matériau de construction alternatif fabriqué avec du sable du désert. Une ressource surabondante mais boudée par les majors de l'industrie du bâtiment. Principalement pour raisons techniques : en effet, le sable des zones désertiques contient de « petites particules lisses qui sont difficiles à lier entre elles ».
- Alternative intéressante au béton classique, le béton d'argile actuellement développé en Vendée est un matériau écologique et particulièrement performant. Déjà utilisé sur plus d'une vingtaine de chantiers en trois mois, le béton d'argile pourrait faire évoluer le marché de la construction.

3.2. Utilisation d'énergie

L'épuisement progressif des ressources pétrolières pose problème pour la production future de polymères. Il faut donc chercher des solutions alternatives tel que les bioplastiques.

4. Gisement et gestion

Définition du gisement

Le terme « gisement » désigne la quantité de déchets ménagers ou industriels produits et collectés pour un territoire défini et répartis selon leur nature.

4.1. ACIER ET FERRAILLES

Le gisement relatif aux aciers et ferrailles est réparti de la façon suivante :

- Dans les ménages, on le trouve en grande quantité ce qui justifie une collecte séparative au même titre que le verre et les papiers-cartons. Les déchets d'acier sont de natures diverses, le plus récurrent étant la boîte de conserve. Malgré la mise en place de containers spécifiques et l'existence de déchetteries, ils sont encore très souvent mélangés au tout-venant des ordures ménagères, ce qui explique que leur récupération peut se faire de plusieurs autres manières : traitement des mâchefers des usines d'incinération surtout (l'acier représente 10% des mâchefers), mais aussi tri des déchets avant traitement dans les usines de compostage. La quantité d'acier dans les ordures ménagères est estimée à 9 kg par an et par habitant.

Les boîtes de conserve, les cannettes, les bombes aérosols... rejetés dans les ordures ménagères portaient autrefois le nom de « fer blanc ». Ce sont des aciers de faible épaisseur (0,24mm), regroupés aujourd'hui sous l'appellation aciers pour emballages et dont les spécificités doivent être prises en compte lors du traitement : en effet, ils sont le plus souvent recouverts d'étain et, pour l'identification commerciale, de vernis.

- Dans l'industrie, il provient de chutes de sidérurgie et métallurgie de transformation, des emballages industriels (fûts, bidons, boîtes de peinture, casse d'automobiles...). L'acier est un matériau dont le temps de récupération est variable selon ses utilisations, allant de quelques semaines pour les cannettes, à 50 ans et plus pour la construction. Mais même après de longues périodes, l'acier reste récupérable.

Les ferrailles sont classées en une vingtaine de catégories différentes selon leur taille, leur origine, la qualité de l'acier qui les compose et bien d'autres critères. Les exigences de qualité sont fixées par un référentiel européen des ferrailles qui tient compte en particulier, de leur teneur en impuretés métalliques résiduelles (ex, norme maximale pour l'étain : 70 millièmes et 500 pour le cuivre...).

4.2. METAUX NON FERREUX

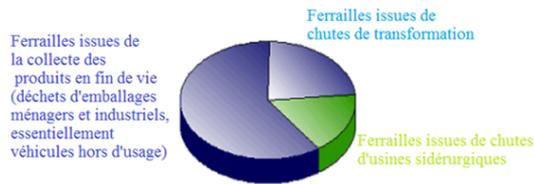
Le recyclage des métaux non ferreux est une activité industrielle déjà ancienne, justifiée principalement par le fait qu'il n'existe aucune différence notable entre le métal primaire extrait du minerai (métal raffiné) et le métal secondaire issu des déchets (métal affiné).

En plus d'être beaucoup moins cher que le raffinage, le recyclage permet en outre une économie des réserves mondiales de ces métaux, relativement peu abondantes et pour la plupart épuisées dans moins d'un siècle.

4.3. LES INERTES

Deux sources principales :

- Le bâtiment et les travaux publics : déchets de démolition, de construction et de terrassement
- Les industries extractives minérales (carrières, mines).



Répartition des gisements relatifs aux aciers et ferrailles

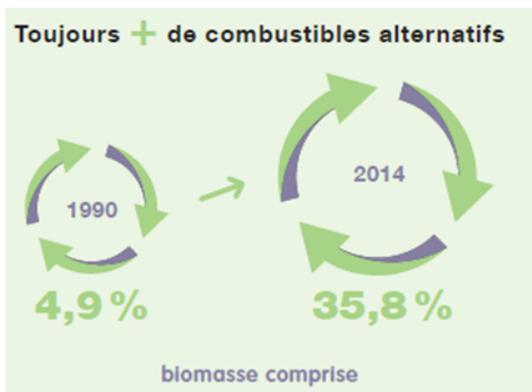
5. Recyclage de l'industrie cimentaire

Le béton est essentiellement composé de sable et de gravier, et un peu de ciment, il est donc déjà plus écologique que le ciment "pur" si le sable et les graviers sont extraits localement et sans trop de dommages vis-à-vis l'environnement. La fabrication du ciment se fait à partir de calcaire et nécessite un chauffage à très haute température (1.450°C) qui engendre d'importantes émissions de CO₂, la fabrication du ciment est donc une importante source de gaz à effet de serre. La fabrication du ciment représente environ 7 à 8 % des émissions totales de CO₂ à l'échelle du globe (à comparer par exemple à 2% pour l'aviation civile). Les cimenteries modernes utilisent de plus en plus des déchets combustibles de récupération pour alimenter leurs fourneaux: (carcasses de pneus, carcasses de viande, ...).

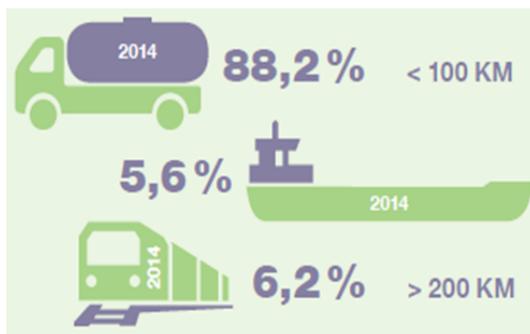
Suite à ses valeurs, l'industrie cimentaire s'est engagée pour s'investir dans le recyclage depuis les années 1990. Les figures suivantes montrent le gain de matière première et l'investissement dans l'utilisation de combustible bio.

Lancement de projets :

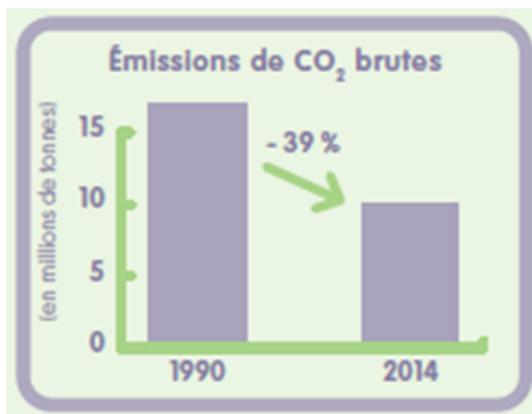
- Récupération des fines non captées par les filtres déjà utilisés dans les grandes usines,
- Protection de l'environnement : projets de fusion entre cimenterie et ingénieurs agronomes afin de résoudre le problème de désertification aux alentours des cimenteries. (Exemple : Analyse multicritère pour le choix de variantes d'un projet routier).
- Nouvelle innovation des systèmes d'emballages des produits finis du ciment.



Utilisation de combustibles alternatifs



Mode de transport du ciment



Réduction de l'émission de co2 : -39%

6. Approche environnementale de la production du béton

6.1. Les principaux textes applicables

- Permis de construire :
- Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

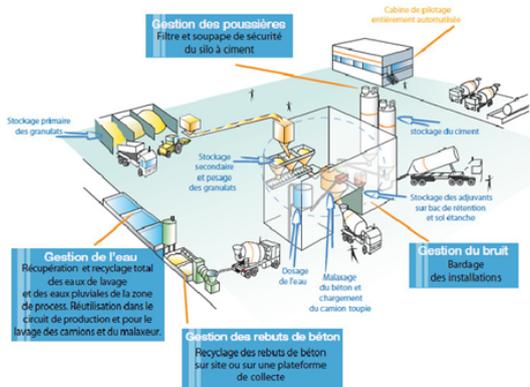
Dans le cas d'une réalisation d'un projet qui doit être soumis à une évaluation environnementale et une enquête publique, il entre dans le champ d'une des rubriques du code de l'environnement :

- Le dossier comportera l'étude d'impact éventuellement commune.

- Le dossier fera l'objet de la majoration de délai spécifique de 2 mois à compter du rapport du commissaire-enquêteur.
- L'autorité environnementale sera consultée.
- Le permis sera soumis à une enquête publique.
- La décision ne pourra être délivrée qu'à l'issue de l'enquête publique et après remise du rapport de la CE.
- La décision mentionnera le différé pour la mise en œuvre des travaux.

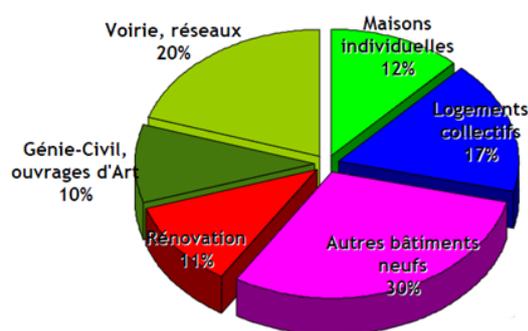
6.2. prescriptions réglementaires

Dans le but de s'orienter vers l'axe des approches environnementales de la production du béton il est impératif de de suivre des prescriptions réglementaires, nous citons a titre de modèle une unité de production du béton.



Exemples de prescriptions réglementaires

6.2.1. Utilisation des bétons



Les usages des bétons

La répartition de l'utilisation des bétons est focalisé d'ordre générale dans le bâtiment, le complément de cette utilisation est comblé dans le domaine du BTP notamment dans les réseaux de voiries est les ouvrages d'arts

Exemple : Exemple d'analyse

L'analyse a été faite sur une centrale à béton de la région parisienne pendant un mois.

- Durant cette période, l'ensemble des consommations en matériaux de la centrale a été suivi ainsi que les distances parcourues par les camions de livraison du béton.
- Deux formulations type ont ensuite été définies :
 - Une formulation en CEM I avec ajout de cendres volantes
 - Une formulation en CEM III
- L'outil BETie du SNBPE a ensuite permis de calculer l'impact environnemental de chacune de ces formules, cela jusqu'à l'arrivée du béton sur le chantier.
- Un impact moyen du béton produit durant la période a également été calculé en pondérant les impacts de chaque formule par les quantités respectives produites de chaque type de béton.

Volumes fabriqués 11 945 m3		
CIMENT		
Type ciment	Dosage	poids total
CEMI	219 kg	1 963 tonnes
CEMIII	320 kg	959 tonnes
ADDITIONS		
Type addition	Dosage	poids total
CENDRES VOLANTES	92 kg	828 tonnes
FILLER	112 kg	59 tonnes
GRANULATS		
Type granullas	Dosage	poids total
ALLUVIONNAIRES	1 714 kg	20 245 Tonnes
MASSIFS	1 698 kg	232 Tonnes
ADJUVANTS		
Poids total adjuvants	Dosage	poids total
	1,35 kg	16 Tonnes
EAUX		
DECANTEE		
DISTANCE MOYENNE		25 704 km 1463 tours

Les données recueillies correspondent à deux grands types de formules CEM I + CV et CEM III

6.3. Fiches Bonnes Pratiques Environnementales

- Intégration environnementale,
- Optimiser les pratiques en matière de prélèvements,
- Économie et de consommation d'eau : Une étude est lancée sur le bilan de consommation d'eau annuel pour une personne sans restriction. Avec une étude comparative.
- Rejet des eaux pluviales : Les rejets d'eaux pluviales dans le milieu naturel ou dans les réseaux d'assainissements est le geste le plus courant à travers le monde, pour les pays à forte pluviométrie ; ils prévoient des installations souterraines pour la récupération de ces eaux pour une éventuelle utilisation d'arrosage, de nettoyage des ruelles ou alors d'utilisation comme point d'alimentation pour la protection civile lors d'un incendie.
- Gestion des rebuts de béton et de déchets industriels,

- transports...

7. Processus de recyclage du papier

7.1. INTRODUCTION

Le papier est une matière fabriquée à partir de fibres cellulosiques végétales et animales réduite en couche mince utilisée pour écrire, essuyé, envelopper.

7.2. DEVENIR DU PAPIER USAGE

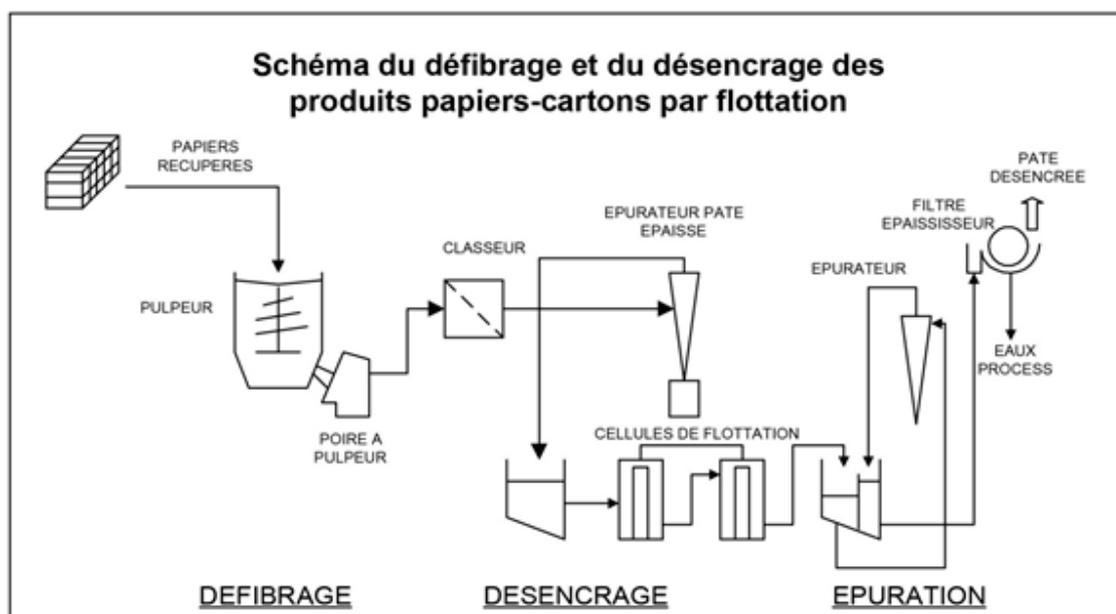
Le papier représente près de la moitié de nos ordures ménagères. Il est recyclé pour faire du papier hygiénique, des boîtes à œufs, des cartons...etc. Les déchets de papier de meilleure qualité provenant des bureaux peuvent être recyclés en papier d'imprimerie ou papier à écrire.

Exemple

En France , à peu près un tiers des produits en papier neuf est fait à partir de papiers recyclés. Chaque tonne de papier recyclé sauve environ 15 arbres.

7.3. PROCESSUS DU RECYCLAGE

La préparation des produits papiers-cartons récupérés a pour but la mise en suspension des fibres et l'élimination des contaminants présents. La phase de désencrage n'est pas systématique. Elle s'applique aux produits papiers-cartons récupérés encrés, dont la consommation par l'industrie de la papetière ne représente qu'un tiers de la consommation totale de produits papiers-cartons récupérés (Utilisation selon les types de produits papiers-cartons récupérés).



7.3.1. Le défilage

Le défilage dans l'eau des produits papiers-cartons récupérés a lieu :

- Dans un pulpeur : C'est une cuve cylindrique dans laquelle un rotor crée de fortes turbulences qui désagrègent les produits papiers-cartons récupérés. Des dispositifs adaptés (poire à pulpeur, sacs de décontamination) permettent une première extraction des contaminants dans le pulpeur .
- Soit dans un tambour en rotation et légèrement incliné, facilitant ainsi l'évacuation des matières indésirables (plastiques, CD-Rom, détritrus, etc.).
- En sortie de pulpeur ou de tambour, une pré-épuratlon permet d'éliminer les impuretés grossières grâce à des tamis vibrants, des classeurs à fentes et à trous et des épurateurs centrifuges. L'épuratlon fine complète cette opératlon et permet d'éliminer les contaminants résiduels selon leur densité (dans des cyclones) ou leur dimension.
- Le défilage des papiers-cartons encrés, même suivi d'une épuratlon très poussée ne permet d'obtenir qu'une pâte grise, plus ou moins foncée. L'utilisation de cette pâte dans la fabrication de certains papiers (papiers à usage graphique, papiers sanitaires blancs) n'est possible qu'en éliminant cette coloration due à l'encre.

7.3.2. Le désencrage par flottation

Pour désencrer un papier il est nécessaire dans un premier temps de décrocher les particules d'encres. Ce décrochage est facilité lors de l'étape de défilage. On agit pour cela sur différents paramètres :

- la quantité et la nature des produits chimiques ajoutés ;
- le pH ;
- la température ;
- le temps de contact ;
- etc.

Les produits chimiques intervenant dans le désencrage de la pâte à papier sont les suivants :

- la soude caustique est employée pour améliorer le détachement de l'encre en élevant le pH et en faisant gonfler les fibres ;
- un surfactant permet de stabiliser les particules d'encre décrochées en solution et empêche qu'elles soient redéposées sur les fibres ;
- le silicate de sodium séquestre certains ions métalliques présents dans l'eau (essentiellement les ions calcium et magnésium). En l'absence de ce produit, les ions métalliques formeraient des dépôts insolubles en réagissant avec le surfactant ;
- le peroxyde d'hydrogène et un agent séquestrant sont utilisés pour maintenir un niveau de blancheur

de la pâte. Celle-ci a tendance à jaunir du fait de l'action de la soude caustique sur la lignine. Le peroxyde d'hydrogène est un agent de blanchiment qui peut se décomposer sous l'action de métaux lourds en composés inutilisables pour le blanchiment. Un agent séquestrant est alors utilisé afin de capter les métaux lourds présents dans l'eau. La principale technique utilisée pour la phase d'élimination de l'encre est le procédé par flottation. Le procédé repose sur les différences physiques et physico-chimiques superficielles des fibres et des particules d'encre. La suspension fibreuse est envoyée dans une succession de cellules à la base desquelles des bulles d'air sont injectées. En montant à la surface, ces bulles d'air se chargent des particules d'encres, séparées des fibres, qui se concentrent sous forme de mousses à la surface des cellules. Ces mousses sont raclées, aspirées puis évacuées vers l'installation de traitement des boues de l'usine. Ces boues peuvent être récupérées et recyclées sous la forme d'un amendement calcique pour les sols agricoles. Elles sont fortement chargées en calcium provenant des substances introduites pour améliorer la blancheur et les qualités d'imprimabilité du papier. L'industrie papetière exploite ce sous-produit en le commercialisant afin de répondre en partie aux besoins de l'agriculture.

7.3.3. Les traitements de la pâte

a) Le blanchiment

Les pâtes à papier obtenues par les différents procédés sont plus ou moins écruées. Cet aspect peut convenir à la fabrication de certains papiers, notamment les papiers et cartons d'emballages. Pour d'autres usages, la couleur blanche du papier est souhaitée. Il s'agit des papiers destinés à l'impression-écriture, des papiers d'hygiène, de certains papiers et cartons d'emballages.

L'opération de blanchiment compte plusieurs étapes de traitements chimiques, plus ou moins nombreuses selon la blancheur exigée et le type de pâte traitée. Ainsi, les pâtes naturellement claires ne nécessitent qu'une à deux étapes alors que les pâtes naturellement foncées en exigent de six à sept.

Dans le cas des pâtes mécaniques, les traitements actuels sont réalisés à l'aide de composés non chlorés :

- l'eau oxygénée ;
- l'hydrosulfite de sodium.

Le principe consiste à modifier les groupements chromophores de la lignine permettant l'éclaircissement de la pâte. Mais ce procédé est réversible sous l'action de la lumière, ce qui cause le jaunissement des papiers, celui des journaux par exemple.

En ce qui concerne le blanchiment des pâtes chimiques, le problème est plus complexe car il faut dissoudre la lignine résiduelle. Le blanchiment consiste à mélanger la pâte dans un « mixeur » avec le réactif choisi puis à le faire réagir dans une tour de blanchiment. Après réaction, on extrait les jus de blanchiment et la pâte est lavée puis filtrée. Les réactifs utilisés sont :

- des composés chlorés comme l'eau de Javel ;
- des composés non chlorés comme le peroxyde d'hydrogène, l'oxygène et l'ozone.

En plus du traitement de blanchiment classique, la pâte à papier peut subir d'autres traitements visant à améliorer d'autres caractéristiques du papier.

b) Les traitements spécifiques

Beaucoup de papiers contiennent des adjuvants, introduits dans la pâte au niveau des cuiviers de mélange, qui leur confèrent des propriétés particulières. Les adjuvants sont répartis en trois catégories :

- les charges minérales ;
- les adjuvants proprement dits ;
- les agents de collage.

i Les charges minérales

Ce sont des poudres fines (1 à 10 microns) et blanches, de kaolin (silice d'aluminium), d'oxyde de

titane (pigment minéral de synthèse), de talc, etc. Ces charges améliorent l'imprimabilité et l'opacité du papier.

ii Les adjuvants

Ce sont des corps introduits en petite quantité pour améliorer :

- la cohésion interne de la feuille. On utilise de l'amidon ;
- la rétention des charges. On utilise des résines cationiques* ;
- la blancheur du papier. On utilise des azurants optiques (corps synthétiques qui n'ont pas de couleurs propres) qui transforment en rayons bleus visibles une partie des rayons ultraviolets du spectre lumineux.

iii Les agents de collage

Ces agents permettent de tapisser la surface des fibres avec un dérivé hydrophobe. On utilise en général des résines naturelles ou synthétiques que l'on ajoute à la pâte raffinée. Ces agents font rouler les gouttelettes aqueuses sur le matériau cellulosique. Cela augmente la résistance mécanique du papier mouillé.

7.4. LE PROCÉDÉ DE LA FABRICATION PAPETIÈRE

L'appellation « papier » désigne les matériaux fibreux dont le grammage est inférieur à 225 grammes par mètre carré; pour les grammages supérieurs à 225 grammes par mètre carré, le terme employé sera celui du « carton ».

Les pâtes obtenues par l'ensemble des méthodes sont :

- soit acheminées directement vers la table de fabrication du papier. Dans ce cas, la pâte est dite « intégrée » ;
- soit commercialisées sous forme de plaques solides contenant de 70 à 90 % de matière sèche vers les usines à papier, où elles sont remises en solution aqueuse dans des pulpeurs. Dans ce cas, la pâte est dite « marchande ».

La fabrication du papier se fait ainsi de différentes façons :

- l'industrie fabrique elle-même la pâte à papier dont elle a besoin pour la fabrication papetière. Elle fait alors appel au marché pour se procurer les matières de base dont elle a besoin ;
- l'industrie se fournit en pâte marchande vierge ou recyclée car elle ne dispose pas d'unité de fabrication de pâte à papier. Dans ce cas, elle fait appel au marché national ou à l'importation.

7.4.1. La transformation de la pâte en papier

Les pâtes, avant d'être envoyées sur la machine à papier, subissent d'abord un raffinage et une

épuration.

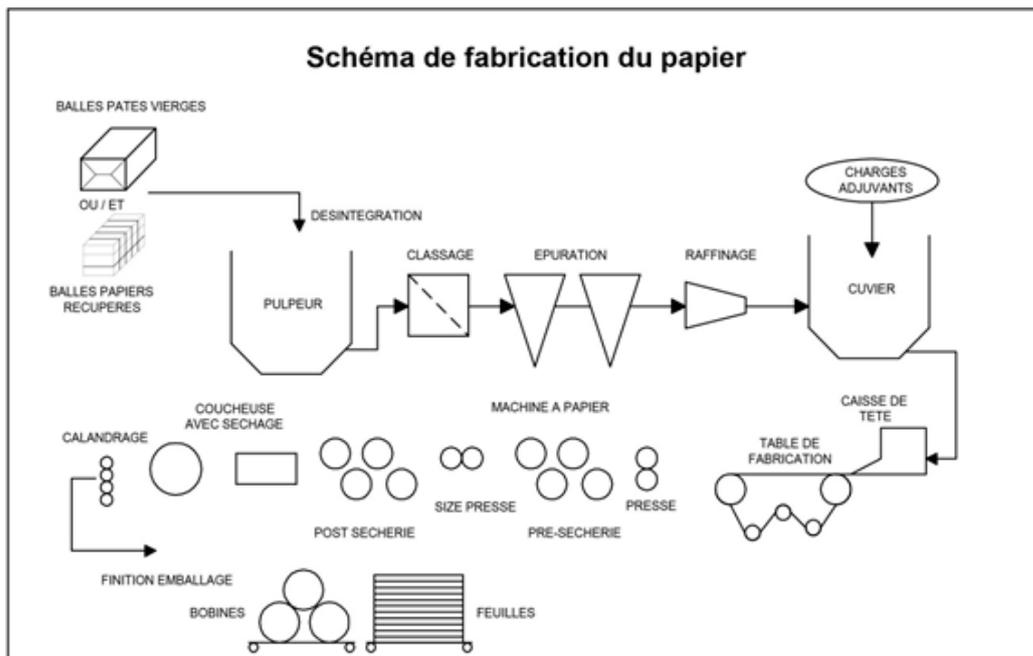
L'opération de raffinage permet, par action mécanique sur les fibres en milieux aqueux, de modifier leurs caractéristiques, en particulier leur aptitude aux liaisons inter-fibres et donc à la résistance du papier. Une fois atteint le degré de raffinage voulu, la suspension fibreuse contenant plus de 99 % d'eau est envoyée dans des cuiviers où on ajoute éventuellement des colles, colorants et charges. La suspension est épurée une nouvelle fois pour enlever par exemple les bouts de bois provenant des palettes de manutention. Elle est ensuite envoyée sur la machine à papier.

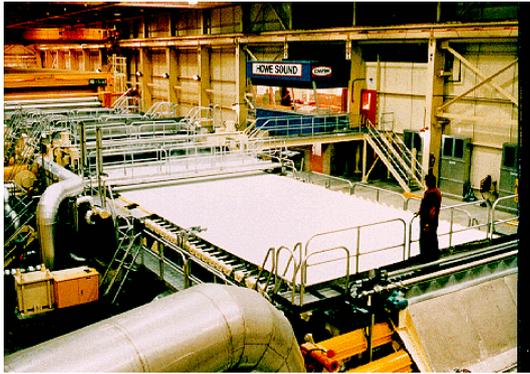
La suspension fibreuse est introduite dans la caisse de tête qui délivre un flot régulier sur toute la largeur de la toile de fabrication. Cette toile sans fin est animée d'un mouvement vibratoire, ce qui facilite la formation homogène de la feuille de papier. L'eau est évacuée à travers la toile par gravité et sous l'action d'organes d'égouttage (rouleaux, racles). En sortie de toile, le taux d'humidité est de l'ordre de 80 %.

Au niveau de la section des presses, la feuille qui a quitté la toile est comprimée entre une série de rouleaux recouverts de feutres absorbants. Cette opération permet d'augmenter la compacité et d'améliorer l'état de surface par action mécanique sur la feuille encore très malléable. Le taux d'humidité passe alors à 55 % à la sortie des presses.

La feuille de papier est acheminée dans la sécherie constituée de tambours de fonte chauffés. Elle est maintenue contre les sècheurs grâce à un feutre lourd ou une toile de séchage composée de coton et de fibres artificielles. Le taux d'humidité est ramené à 10 %, taux normal du papier sec.

Certains papiers peuvent subir des traitements spécifiques améliorant leurs caractéristiques mécaniques, leurs propriétés de surface, leur aptitude à l'impression, etc.





Exemple d'industrie de la pâte a papier



Suite de la chaîne de production du papier



7.4.2. Les traitements de la feuille

a) Les traitements mécaniques

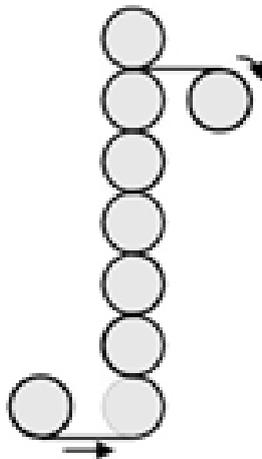
i Le frictionnage

Le traitement consiste à sécher la feuille humide contre la surface humide d'un cylindre chauffé. Le papier est alors comprimé et frictionné. Ces papiers sont brillants sur une seule face.

ii Le calandrage ou satinage

Ce traitement consiste aussi en une compression et une friction du papier mais ici le « repassage » est effectué sur des calandres. Ces calandres comprennent entre douze et vingt-quatre rouleaux alternativement faits de métal et de cellulose comprimée. Le papier est poli et brillant.

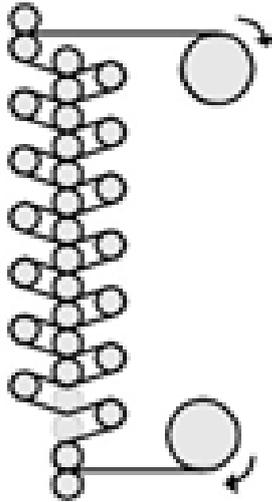
Calandrage



iii Le super calandrage ou glaçage

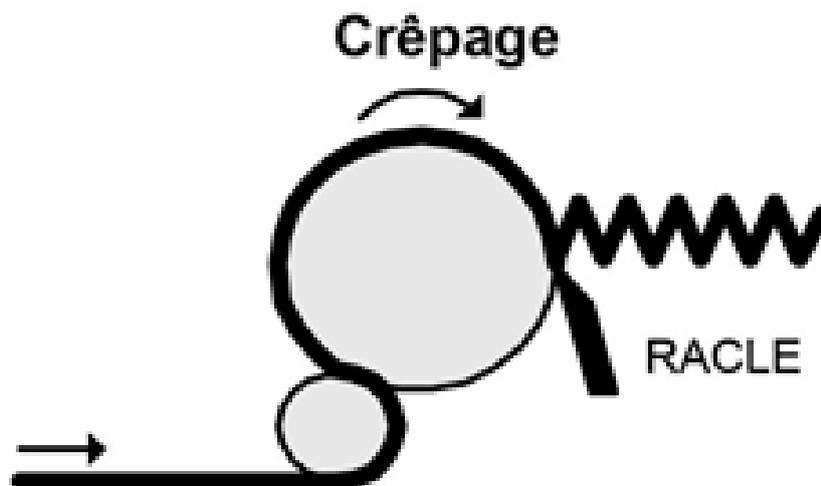
Le papier peut subir un super calandrage (calandrage à hautes températures, hautes pressions et avec un nombre de rouleaux plus important). Ce papier est très brillant.

Super calandrage



iv Le crêpage

Le papier encore humide est décollé du cylindre à l'aide d'un racle. Le crêpage rend le papier plus doux, plus souple, plus élastique.



v L'apprêtage

Ce sont des papiers qui sont passés à la lisse c'est-à-dire au travers un dispositif mécanique constitué de plusieurs rouleaux qui effectue une compression de la feuille. Ce traitement est réalisé en fin de sécherie afin d'obtenir un aspect plus uni et plus uniforme sur les deux faces.

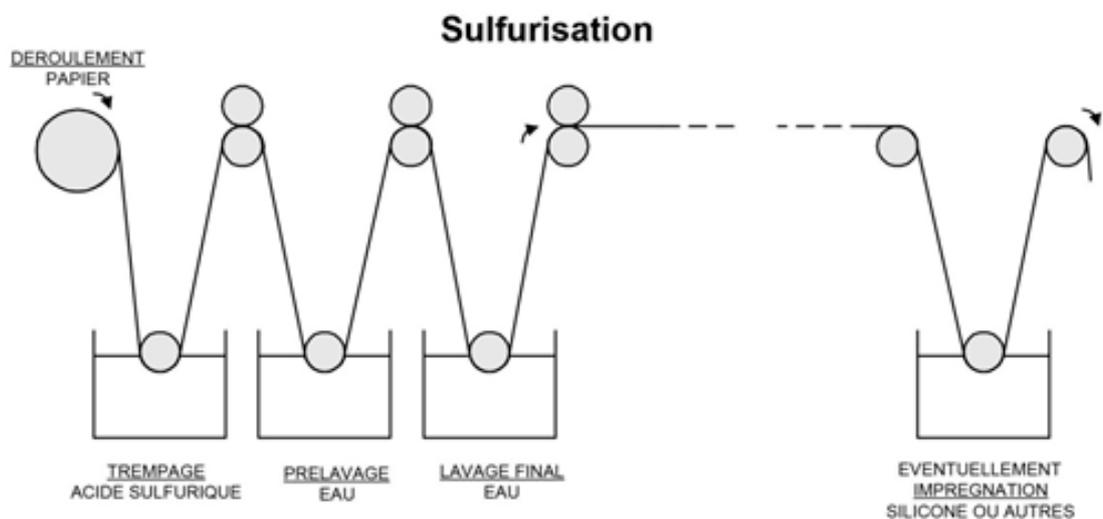
b) Les traitements chimique

i Le couchage

On effectue un dépôt sur la feuille d'un mince revêtement de particules minérales (généralement de kaolin et de carbonate de calcium). Ce traitement améliore le rendu et la finesse des impressions.

ii La sulfuration

:Après formation, le papier (composé d'un mélange de pâte au sulfate et au bisulfite) est trempé dans l'acide sulfurique. L'acide solubilise la surface des fibres de cellulose qui se soudent entre elles. Le papier est ensuite lavé à l'eau pure. L'acide présent dans les eaux de lavage est reconcentré et régénéré pour une utilisation future. Le papier sulfuré a des propriétés d'imperméabilité aux corps gras, d'anti-adhérence ainsi qu'une très grande résistance à l'état humide.



iii Le paraffinage

Le papier souvent préalablement traité est soit enduit à sa surface soit imprégné de paraffine. Le papier paraffiné est utilisé pour l'emballage alimentaire pour ses caractéristiques adaptées : sans odeur ni goût et non toxique, ce papier représente une barrière pour les liquides et les vapeurs.

En fin de machine, la feuille de papier peut être enroulée en une bobine « mère » qui sera découpée en rames ou en bobines « filles » plus adaptées à une utilisation ultérieure du papier.

Le papier fabriqué peut ensuite être expédié sur les différents marchés ou être destiné à la fabrication du carton.

7.5. LA FABRICATION DU CARTON

L'appellation de carton est réservée aux matériaux fibreux de fort grammage, supérieur à 225

grammes par mètre carré. Le carton est par nature très proche du papier et les procédés de fabrication en sont similaires. Deux méthodes sont utilisées. Le carton est fabriqué :

- soit à partir de pâte à papier avec ou sans addition d'autres substances ;
- soit à partir de feuilles de papier.

7.5.1. La fabrication du carton à partir de pâte à papier

Ce carton est fabriqué suivant la méthode multijets. Cette méthode associe de trois à sept jets de pâtes de composition identique ou différente. Chaque jet fibreux est formé individuellement grâce à un dispositif autonome. L'association des jets se fait par pressage.

La feuille obtenue est envoyée dans la machine à carton qui comporte les mêmes sections qu'une machine à papier, mais elle est adaptée à de plus forts grammages. La fabrication consiste alors à rechercher le meilleur ensemble de propriétés spécifiques à l'utilisation du produit cartonné en combinant des jets de pâtes offrant par exemple une bonne imprimabilité sur la surface et une rigidité intérieure.

7.5.2. La fabrication du carton à partir de feuilles de papier

Le carton est obtenu par contre-collage de feuilles de papier sec au moyen d'une matière adhésive telle que l'amidon ou une résine synthétique. Une feuille de papier est enroulée autour d'un tambour jusqu'à l'épaisseur désirée puis on la coupe selon une génératrice. La production est effectuée feuille à feuille. La feuille de carton est ici homogène.

Un autre type de carton est obtenu par contrecollage de feuilles de papier : le carton ondulé est un matériau d'emballage composé de deux à sept feuilles de papiers pour ondulé. Sa fabrication correspond donc à une étape de transformation du papier. Ce carton comporte trois types de feuilles de papier :

- les couvertures : feuilles planes extérieures qui assurent une résistance de l'emballage aux agressions mécaniques et climatiques et constituent un support d'impression ;
- les médianes : feuilles planes intérieures ;
- les cannelures : feuilles cannelées qui accroissent la rigidité, la flexion, l'élasticité à l'écrasement et la résistance à la compression.

Le carton ondulé est fabriqué sur une onduleuse en plusieurs étapes :

- fabrication de la cannelure : le papier cannelure est ondulé entre deux cylindres cannelés sous l'effet de la température, de l'humidité, de la pression ;
- fabrication du carton ondulé simple face : la couverture est appliquée sur les crêtes enduites de colle du papier cannelé. Le carton ondulé est acheminé vers des bobineuses ou vers la partie double face ;
- fabrication du carton ondulé double face : un, deux ou trois ondulés simple face sont collés à une couverture pour former du carton ondulé double face, double-double face ou triple cannelure. Le carton

ondulé est ensuite engagé sur une table chauffante pour la prise de la colle.

7.6



Remarque

Une batterie de matériaux (verre, cuivre, céramique, laitier de haut fourneaux...) sera étudiés en détail lors des séances de TD, le processus de recyclages du papier est pris a titre d'exemple.

Les sujets de présentation sont communiqués aux étudiants par le biais de la plate forme de l'université en fonction du nombre d'effectifs de chaque promotion.

7.7. CONCLUSION

On peut affirmer que le recyclage du papier permet de sauvegarder les forêt des massacres. Il suffit d'installer une station de recyclage pour réduire la consommation de papier de manière significative, en effet, en quelques années, des hectares de notre forêt peuvent être préservé. Même si ce projet représente un investissement très considérable, il est très intéressant à envisager pour préserver la forêt sur un long terme. Il faut également utiliser beaucoup d'eau et d'électricité ainsi que des produits chimiques qui peuvent être nocifs pour l'environnement. Même en consommant que du papier recyclé acheté dans des grandes entreprises, cela représenterait un geste environnemental important. Mais pour réduire de manière plus importante notre impact que nous répercutons sur cette forêt il faudrait inclure d'autres méthodes de recyclage.

8. Exercice

[solution n° 12 p.63]

Le recyclage des matériaux touche les domaines

- Automobiles
- Bâtiments
- Agriculture
- Les deux premières propositions

Valorisation des déchets

VI

Les boues des stations d'épuration	51
Les boues de dragage/curage	53
Le caoutchouc	56

1. Les boues des stations d'épuration

Définitions

Une boue d'épuration est le principal déchet produit par une station d'épuration. Elle contient des matières minérales et organiques. Sa composition peut varier suivant le mode de traitement des effluents et selon le secteur dans lequel l'eau a été utilisée « nucléaire ou alimentaire ». L'eau traitée peut aussi bien provenir d'usines, d'eaux pluviales, ou de foyers.

D'une manière générale les eaux usées rentrant dans une station d'épuration prennent le nom de « boue ». Les boues passent par différents stades et prennent différents noms (boues primaires, boues secondaires ...etc.)

L'expression plus largement peut désigner toutes boues provenant d'un système d'épuration industriel incluant les résidus d'épuration des fumées, du traitement des eaux acides...etc.

1.1. Types de boues d'épuration

Boues primaires

Elles résultent d'un traitement primaire par décantation. Ce processus dure environ 2 heures et permet d'extraire les matières plus lourdes que l'eau. Le principe est simple :

- l'eau repose dans un bassin et les impuretés lourdes tombent au fond de celui-ci,
- les impuretés récoltées au fond de l'installation sont appelées boues primaires et sont composées de matières inorganiques,
- à ce niveau-là, l'eau est traitée à 40 % environ et continue son chemin vers le bassin d'aération.

1.1.1. Boues physico-chimiques

Elles sont formées par le traitement biologique secondaire. Celui-ci intervient après le traitement

primaire. Il permet d'éliminer les matières organiques n'ayant pu être retirées en amont. Ces boues sont donc principalement constituées de matières organiques et contiennent un faible pourcentage de matières inorganiques.

1.1.2. Boues mixtes

C'est un mélange entre les boues produites lors du traitement primaire par décantation et du traitement biologique secondaire, c'est-à-dire entre les boues primaires et psycho-chimiques.

1.2. Traitement des boues d'épuration

Les boues de stations d'épuration ont une siccité allant de 1 à 5 %. Il est donc nécessaire d'effectuer un traitement des boues.

Les boues sont constituées d'eau libre ou d'eau liée. L'eau libre est faiblement absorbée et donc facilement dissociable grâce à un système de déshydratation. Des particules et bactéries sont fixées à l'eau liée, et ne peuvent être éliminées que par séchage thermique.

Le traitement permet de réduire le volume d'eau et d'éliminer les différentes matières polluantes et fermentables. Il a pour but de préparer des solutions de recyclage de la boue par valorisation ou l'élimination.

1.3. Techniques de traitement des boues

Il existe un traitement approprié en fonction de la « configuration » des boues de stations d'épuration :

1.3.1. L'épaississement

cette étape permet d'augmenter le taux de siccité de boue afin qu'il atteigne 6 à 8 %. Ce procédé est indispensable pour une meilleure qualité du traitement par la suite.

1.3.2. La stabilisation

la stabilisation et l'hygiénisation permettent de diminuer drastiquement le volume d'eau dans la boue (jusqu'à 80 %), voire la sécher (5 à 10 % d'eau présente). Cette étape permet de réduire considérablement le volume des déchets, de stabiliser les matières organiques et d'éliminer tout organisme ou bactérie pouvant déclencher des maladies.

1.3.3. La déshydratation

Cette technique permet de produire une boue pâteuse ou solide par le biais d'une augmentation de la siccité de la boue d'origine.

1.3.4. Le séchage

Ce procédé permet d'obtenir une boue solide (déshydratée). Cela engendre tout naturellement un gain de place pour le stockage et le transport des boues. Cette étape devient de plus en plus indispensable à l'heure d'aujourd'hui, où les boues industrielles sont de plus en plus nombreuses. Cette opération est peu coûteuse et donc attractive pour les industries. Dans ce contexte et pour une efficacité maximale, des techniques innovantes sont de plus souvent utilisées, notamment le séchage solaire.

1.4. Réutilisation des boues d'épuration

Après avoir traités ces boues, le processus de recyclage peut avoir lieu ; cette procédure se résume comme suit :

1.4.1. La valorisation

Il est possible d'utiliser certaines boues dans le domaine agricole, en les épandant dans les champs comme de l'engrais ou de compost. D'autres boues peuvent, après déshydratation, être placées dans des fours thermiques afin de produire de l'énergie. Il est parfois possible d'utiliser les boues dans l'industrie en les réinjectant dans le circuit de production.

1.4.2. Élimination

pour les boues dont les particules sont trop difficiles à gérer, la seule solution est l'incinération. Certains types de boues sont mis en décharge avec des déchets ménagers.

Tout dépend du traitement qu'elles auront subi et du domaine dont elles proviennent.

En toute logique, les boues issues d'eaux usées des secteurs nucléaire et chimique seront toujours utilisées en élimination et non en valorisation. Au contraire, une boue de qualité issue du domaine agroalimentaire aurait tout intérêt à être épandue dans les champs.

2. Les boues de dragage/curage

Définition

Les boues de curage (ou de dragage) sont le produit de l'entretien des canaux ou des chenaux estuariens ou portuaires.

On appelle dragage l'opération qui consiste à extraire les matériaux situés sur le fond d'un plan d'eau. L'objectif peut être de réaliser des travaux de génie portuaire (creusement de bassins ou de chenaux), d'entretenir les chenaux fluviaux ou maritimes empruntés par les navires lorsqu'ils ont été comblés par les sédiments, d'effectuer des opérations de remblaiement pour reconstituer les plages ou gagner des terres sur la mer ou d'extraire des granulats marins pour répondre aux besoins du secteur de la construction.

Les travaux de dragage sont réalisés par des navires et engins spécialisés dont les caractéristiques dépendent de la nature des travaux et de l'environnement dans lequel ils doivent être effectués : dragues hydrauliques ou dragues mécaniques, navires capables de manoeuvrer ou simples pontons. Les matériaux extraits sont stockés à bord pour être transportés plus loin, placés dans des barges attenantes ou évacués par des canalisations. Selon ses caractéristiques la drague effectue son travail en étant statique ou en mouvement.

Les produits du dragage sont le plus souvent soit stockés à terre sur des terrains aménagés soit rejetés en mer (clapage), généralement à l'intérieur de périmètres définis. Les sédiments, lorsqu'ils sont extraits de zones concentrant des activités industrielles ou portuaires, peuvent être fortement pollués notamment par les métaux lourds. Pour ces raisons, ainsi que pour contrôler l'incidence du dragage sur l'environnement au sens large, l'activité de dragage est généralement contrôlée.

2.1. Types d'activités de dragage

Le mouvement de dragage consiste en l'excavation de sols ou d'alluvions sous l'eau (lacs, fleuves, rivières, watingues, canaux, estuaires, chenaux marins, etc.) Il peut être réalisé à partir de la berge, avec des engins de travaux classiques ou depuis un navire ou une barge spécialisée.

2.2. Évolution des boues de dragage

2.2.1. Les prélèvements et analyses

Il est important de prendre les échantillons dans les zones draguées avec des gestes statistiques et représentatifs à savoir le nombre de points de prélèvements significatif qui couvre toute la surface et la profondeur à draguer est nécessaire. Les échantillons de zones non homogènes ne doivent pas être mélangés. Les analyses doivent être prévues par secteur d'usage dans chaque bassin pour que l'on puisse situer géographiquement chaque polluant (même en profondeur en particulier dans les ports anciens).

Il faut veiller à ce que les flux ou quantités de polluants qui sont extrapolés, dans les dossiers, à partir des résultats d'analyses soient exprimés en poids (et non simplement en volume si l'on ne donne pas les concentrations)

2.2.2. Localisation et indication

Conformément à l'article L218-43 du Code de l'Environnement en reprenant l'interdiction d'immersion de déchets de la Convention de Londres (29/12/1972) avec les dérogations L218-44 pour les déblais de dragage et L214-1, -4 et -10 affirme la classification des déblais de dragage dans la catégorie déchets. La dérogation doit faire l'objet d'un permis.

Remarque : NB :

Ces articles sont à titre explicatif et ne sont pas applicable en ALGERIE.

2.3. Manipulation des matériaux

2.3.1. Méthodes de traitement

La transformation a pour objectif de minimiser ou de stabiliser la contamination dans un but de valorisation et de réduction du stockage de déchets ultimes.

- Prétraitement : déshydratation et séparation des différentes couches pour réduire le volume, contrôler les niveaux de contamination et orienter la suite en fonction aussi du type de produit.
- Traitement biologique : épandage ou compostage en veillant à l'étanchéité des installations - Traitement physico-chimique
- Traitement thermique : pose le problème de la consommation d'énergie
- Traitement par immobilisation (plateformes, décantation in situ, pour séchage) Plusieurs programmes de recherches techniques pour une classification et une valorisation des sous-produits sont en cours.

Les sédiments décontaminés (analyses obligatoires pour confirmer la décontamination) ne doivent pas être immergés en mer, même s'ils peuvent être reclassés « non contaminés » au regard de N1 et N2 fixés dans l'arrêté du 9/8/2006. Ils devront être valorisés dans une filière à terre. Si un retour en mer est envisagé, il faut demander une étude économique comparative avec une valorisation à terre. Il n'y a actuellement aucune reclassification juridique des sédiments traités.

2.3.2. Valorisations possibles

A noter que pour les sédiments commercialisables, les stations de traitement ou de transit doivent faire une déclaration (>15000m³) ou autorisation (>75000m³) au titre des rubriques 2517 et 2515 de la nomenclature des ICPE. A noter également que la commercialisation ne nécessite pas de procédure minière si l'extraction est limitée aux besoins des travaux.

2.4. Le Stockage

Le stockage est la dernière solution pour les sédiments qui ne peuvent être valorisés. Dans ce cas il y a deux solutions réglementaires, l'Installation de Stockage de Déchets Non Dangereux (ISDND) ou l'Installation de Stockage de Déchets Dangereux (ISDD).

Les sédiments peuvent contenir des polluants qui ne sont pas pris en compte dans les critères des ISDND (prévus normalement pour les déchets ménagers et assimilés). Donc il faut tester le critère H14 d'écotoxicité ou (principe de précaution) les envoyer en ISDD (prévu pour les déchets toxiques mais alors inerte et coût élevé...). Cependant les volumes de sédiments sont souvent importants au regard de la taille de ces centres.

Le stockage en centre collectif doit être réservé à ce qui est nécessaire. De nouveaux critères, spécifiques aux sédiments sont en attente au Ministère pour la classification en « dangereux » dans le cadre de la circulaire « dragage ».

2.5. Le clapage en mer

Afin d'avoir l'autorisation à évacuer en mer par dérogation, il faut avoir démontré dans un dossier de demande de permis qu'aucune autre solution n'était possible et que tout avait été mis en œuvre pour éviter la production et la contamination des sédiments. Sur le plan chimique et physique, les critères à prendre en compte sont énumérés par la Convention de Londres mais la détermination de la liste des substances toxiques et des niveaux critiques est renvoyée au plan national : c'est à ce stade que l'on introduit la notion de « peu dangereux » au regard de l'immersion.

3. Le caoutchouc



Arbres d'hévéa

3.1. Définition

Le caoutchouc C_5H_8 est une matière première naturelle, il peut être obtenu soit par la transformation du latex sécrété par les arbres d'hévéa, soit de façon synthétique à partir de monomères issus d'hydrocarbures fossiles. Il fait partie de la famille des élastomères. Le caoutchouc naturel est un polyisoprénoïde.

Il existe donc deux grandes familles de caoutchoucs :

- les caoutchoucs naturels qui proviennent de l'hévéaculture (hévéa : arbre qui produit du latex),
- les caoutchoucs synthétiques fabriqués à partir de dérivés du pétrole.

Les caoutchoucs sont utilisés dans de nombreux secteurs : automobile/transport (pneumatiques, système de freinage, airbag, étanchéité, ..), équipement industriel, bâtiment et travaux publics (BTP), médical (préservatifs, gants, ...), alimentation (tétine...), colles et adhésifs...

Les déchets de caoutchouc ont quatre origines :

- Les déchets de caoutchouc industriel (8%),
- Les déchets de fabrication de pneumatiques et chambres à air (3,5%),
- Les pneumatiques usagés (86,6%),
- Les déchets du recyclage (poudrettes, copeaux) (2%).

3.1.1. Origines

Les sources de caoutchouc recyclé sont donc les suivantes : les pneus usagés (70%), les déchets de

caoutchouc industriel (semelles de chaussures...), ou encore les chutes de fabrication des pneus. Le caoutchouc recyclé peut être retrouvé dans toutes sortes de produits du quotidien, les marques de chaussures responsables se tournent notamment vers lui pour fabriquer leurs semelles de baskets éco-responsables.



3.2. Prévention / Réduction

La réutilisation des chutes de caoutchouc au sein même du processus permet de réduire la production de déchets.

L'utilisation du caoutchouc naturel (latex) est à privilégier car moins nocif pour l'environnement, mais son bilan carbone est moins bon car il est récolté dans les zones intertropicales.

3.3. Gestion et collecte

Les déchets de caoutchouc doivent être stockés dans un endroit clos et protégé des intempéries si possible, en tas séparés afin d'éviter tout risque d'incendie ; les fumées émises lors d'un incendie étant dangereuses pour la santé et l'environnement. Dans la mesure du possible, le stockage doit être limité à de petites quantités.

Il existe à l'heure actuelle peu de filières de collecte du au caractère diffus de ce gisement, pourtant ces déchets peuvent être valorisés.

Pour de grandes quantités, il est possible de faire appel à un prestataire spécialisé.

Le transporteur doit déclarer son activité en préfecture si la quantité transportée dépasse 500kg de déchets non dangereux par chargement.

3.4. Valorisation

3.4.1. Valorisation matière

Les déchets de caoutchouc peuvent servir à la fabrication de granulats et de poudrettes utilisés dans la fabrication de pièces (roulettes, ...), de revêtement de sols sportifs et routiers, de produits d'étanchéité et d'isolation phonique...

3.4.2. Valorisation énergétique

Les déchets de caoutchouc peuvent faire l'objet d'une valorisation thermique en cimenteries. Ils peuvent aussi être incinérés avec d'autres déchets dans des usines d'incinération des déchets non dangereux.

3.5. Procédés de recyclage du caoutchouc

3.5.1. La micronisation

le broyage mécanique du caoutchouc en micro-particules allant juste 100 microns. La poudre de caoutchouc recyclé peut ensuite être réincorporée à hauteur de 10% dans un caoutchouc neuf.

3.5.2. La dé-vulcanisation du caoutchouc

un processus non-toxique, qui consiste à briser les liaisons de soufre au moyen d'un dévulcanisateur écologique (EDV). La matière obtenue est du caoutchouc recyclé, de bonne qualité, qui peut être réutilisé à 100% pour fabriquer de nouveaux produits.

3.5.3. La pyrolyse

processus permettant de "valoriser le caoutchouc sous forme d'huile (30 à 50%), de carbone noire (25 à 40%) et d'énergie (10 à 25%)."

3.6. Types de recyclage du caoutchouc

Recyclage non industriel

La valorisation de ce matériau réside du fait de lui donner une seconde chance de vie en lui donnant une nouvelle valeur à savoir ajouté des accessoires

3.6.1

A titre d'exemple, les vieux pneus peuvent être peints de différentes couleurs et les mettre en place comme des bancs ou des tables pour les jardins et les places, mais cela n'est pas considéré comme

une véritable solution au problème en raison du grand nombre de pneus qui sont détruits chaque année.



Mise en place de vieux pneus dans des jardins



Utilisation des pneus comme pots de fleurs

3.6.2

Les pneus endommagés peuvent également être utilisés dans les actions de géo-matériaux, en les utilisant dans les opérations de soutènement des talus et en réduisant les risques de glissement et d'érosion des sols. Ensemble, ce système fonctionne bien pour résister à l'érosion des sols et éviter les processus de cisaillement qui provoque l'effondrement des talus.



Utilisation de pneus en guise de soutènement de talus

3.6.3

Dans certaines régions, les pneus sont utilisés dans la construction de maisons, mais leur utilisation dans ce domaine reste étroite et limitée à de rares cas.



Utilisation des pneus pour construction

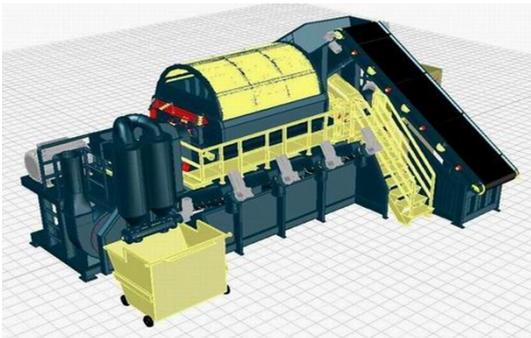
3.6.4

Production d'énergie : Les pneus peuvent être fondus à des températures très élevées dans des réacteurs sans oxygène, et lorsque la fonte s'évapore, elle est condensée avec de l'eau à travers des tuyaux qu'elle traverse et produit des matériaux utiles tels que le diesel, le noir de carbone et l'acier.

3.6.5. Recyclage industriel

Le recyclage industriel nécessite des procédés industriels pour extraire les matières premières. Dans le cas du recyclage des pneus en caoutchouc, les pneus passent par le processus de fabrication pour extraire le caoutchouc, le fer, les fibres et le plastique.

Les pneus en caoutchouc passent par plusieurs étapes avant d'en extraire les matières premières et la poudre de caoutchouc pur.



Exemple d'usine pour recyclage des pneus.

Solutions des exercices



> Solution n° 1

Exercice p. 9

Donner la fourchette de dimension des granulats.

Les granulats sont tous les grains minéraux ayant n'importe quel calibre.

Les granulats c'est l'ensemble de grains minéraux appelés, fines, sables, gravillons ou cailloux, suivant leur dimension comprise entre 0 et 80mm.

Les granulats c'est l'ensemble de grains minéraux appelés, fines, sables, gravillons ou cailloux, suivant leur dimension comprise entre 0 et 100mm.

> Solution n° 2

Exercice p. 10

Tracer le schéma de fabrication des granulats

Extraction de la matière première-Concassage-Calibrage-Stockage avant expédition.

Stockage de la matière première-Lavage du matériaux-Calibrage-Stockage avant expédition.

> Solution n° 3

Exercice p. 10

Quelles sont les types d'eau utilisée dans les bétons

L'eau potable

L'eau de pluie et de ruissellement

L'eau issue des usines de production chimique.

L'eau de recyclage provenant du rinçage des bétonnières



> **Solution n°4**

Exercice p. 10

Les bétons innovant ont pour but de :

- D'améliorer les caractéristiques physiques du produit
- Augmenter la résistance mécanique du béton.
- Valorisation des produits locaux en améliorant le comportement du matériaux.
- Développer un béton prêt a l'emploi qui n'est pas trop cher.

> **Solution n°5**

Exercice p. 17

Que signifie l'abréviation DIS

- Dommage industriels spéciaux
- Déchets industriels spéciaux.
- Déchets interne saturés

> **Solution n°6**

Exercice p. 17

Incinérer signifie enfouir dans la terre

- Vrais
- Faux

> **Solution n°7**

Exercice p. 17

Les lieux de collecte doivent être dégagés et installés le plus près possible des usagers

- pour être en contact avec le milieu extérieur
- Pour éviter les explosion au moment des incendies
- pour faciliter le dépôt des déchets des utilisateurs.

> **Solution n°8**

Exercice p. 26

La procédure de recyclage commence

- Dès l'extraction de la matière première
- A partir du moment où nous récoltons les déchets

> **Solution n° 9**

Exercice p. 26

Le laitier cristallisé est obtenu par :

- un refroidissement lent qui le transforme en une roche dure
- un refroidissement brutal qui lui confère une structure vitreuse

> **Solution n° 10**

Exercice p. 27

Que signifie l'abréviation DIS

- Déchets industriels spéciaux
- Dommage industriels spéciaux
- Déchets interne saturés

> **Solution n° 11**

Exercice p. 27

les catégories de recyclage sont

- Le recyclage mécanique
- Le recyclage thermique
- Le recyclage organique
- Le recyclage chimique

> **Solution n° 12**

Exercice p. 49

Le recyclage des matériaux touche les domaines

- Automobiles
- Bâtiments
- Agriculture

- Les deux premières propositions

> **Solution n° 13**

Exercice p. 50

Les tétra-packs contiennent

- 95 % de carton
- Un film d'aluminium
- Une fine couche de verre
- Un film plastique extérieur

> **Solution n° 14**

Exercice p. 50

Quel est le seuil en grammes/m² qui différencie le papier du carton ?

- 195
- 210
- 225
- 245

> **Solution n° 15**

Exercice p. 50

Les adjuvants sont introduits dans la pâte de papier afin:

- D'accélérer le séchage de la feuille
- la cohésion interne de la feuille
- d'améliorer la cohésion interne de la feuille et la blancheur du papier
- Accroître la blancheur du papier.

Glossaire



déchetterie

Endroit où l'on peut déposer les déchets ménagers encombrants ou susceptibles d'être recyclés.



Références



ABBAS-HADJ-ABBAS

*<< thème : les
bourbiers des forages
pétroliers et des unités
de production : impact
sur l'environnement et
technique de traitement
; spécialité : génie
pétrolière ,*

Université KASDI MARBAH -OUARGLA- année 2010/2011

*CTP-ADEME.Energie
et environnement dans
l'industrie papetière.
Mai 1996*

*De Craecker W. ;
"Gestion des déchets",
Promosafe 1991, 18,
356-370; 1992, 19,*

Revue générale du problème des déchets

*Ginger , 2009-2011.
Suivi de l'incidence de
la technique de
remobilisation des
sédiments par injection
d'eau. GPMB*

Guide méthodologique sur le dragage par injection d'eau

*Guide du traitement
des déchets,*

Damien Alain



L'économie circulaire dans l'aménagement urbain ; Enjeux et innovations par AFOCO.

Les matériaux d'emballage- Réglementation technique et environnement. 1995

O2 France-Emballage Digest-L'environnement magazine.

M.KHODJA << étude des performances et considérations environnementales ; université Louis pasteur Strasbourg –France- 2008 >>

Mechaymech AHMAD, « Valorisation des boues de dragage au port de Dunkerque », Université d'Artois, 2002

PASCAL Maes. Gestion des déchets de chantier. Guide méthodologique

Citation

Rapport de Laure POMMIER, Pistes de valorisation à terre des boues et sédiments de dragage portuaire en France et en Europe, Août 2011, Bretagne Vivante – SEPNB

le rapport est effectué en Août 2011, Bretagne Vivante – SEPNB

*Thèse de doctorat
2002 : Sous-produits
industriels et*

*développement durable
: Réactivité, rôle et
durabilité des laitiers
d'el Hadjar dans les
matériaux à matrice
cimentaire réalisée par
Mourad BEHIM*

