



Université A.MIRA-BEJAIA

**Faculté de Technologie
Département de Génie des Procédés**

RECYCLAGE ET VALORISATION DES DECHETS

Melle KHENNICHE Lamia

SESSION : JANVIER

PREAMBULE

Public cible

Ce polycopié présente des notions de base en rapport avec les déchets solides, leurs vieillissements, leurs dégradations ainsi que les différents procédés de valorisation de ces résidus.

Il est destiné aux étudiants en formation de Génie des Procédés des Matériaux et à tout le public qui s'intéresse à l'étude de l'impact des rejets solides sur l'environnement et au développement éventuelles des techniques de valorisation (réutilisation, recyclage et compostage) de ces déchets solides et ce, quels que soit leurs origines ou formes.

Pré-requis : Cycle de vie, vieillissement et dégradation des matériaux, fin de vie d'un produit.

Contenu

Il s'agit dans ce présent polycopié de sensibiliser les étudiants sur l'importance de gérer et de valoriser les déchets solides quel que soit leurs natures chimiques, leurs origines et le degré de dangerosité vis-à-vis de la santé humaine et de l'environnement.

Au fait, l'étudiant doit connaître toutes les opérations relatives à la collecte, au tri, au transport, au stockage, à la valorisation et à l'élimination des déchets, sans oublier le contrôle de toutes ces opérations.

Le premier chapitre est dédié aux définitions, aux généralités sur les déchets, ainsi qu'aux différentes origines en se basant sur la réglementation en vigueur (journal officiel algérien). Dans le second chapitre est abordé, la notion de l'analyse du cycle de vie d'un produit et qui n'est autre qu'un outil d'évaluation des effets directs ou indirects d'un produit sur l'environnement, depuis l'extraction des matières premières qui entrent dans sa composition jusqu'à son élimination comme moyen d'aide à la décision. Le troisième chapitre porte sur les méthodes de valorisation des déchets issus des différentes collectes et ce quelque soit son origine. Le dernier chapitre est consacré au recyclage des déchets ainsi qu'à l'utilisation de ces derniers ans la fabrication de nouveaux matériaux destinés à différents domaines d'application.

Objectifs de l'enseignement

- 1- Connaissance de l'origine chimique polluante d'un déchet.
- 2- Savoir déterminer le bon exutoire pour un déchet donné au regard de la réglementation.
- 3- Déterminer les critères de choix de matériaux en se basant sur son cycle de vie/ leurs impacts
- 4- Connaître des grands procédés de traitement des rejets industriels.
- 5- Connaître les techniques de recyclage et de fabrication de nouveaux matériaux à partir des déchets solides

SOMMAIRE

Chapitre I : Définitions et généralités sur les déchets et le recyclage

INTRODUCTION.....	1
I.1. Qu'est ce qu'un déchet ?.....	1
I.2. Origine des déchets	2
I.3. Composition chimique d'un déchet	2
I.4. Différentes classes de déchets selon la réglementation en vigueur.....	2
I.5. Gestion des déchets selon la réglementation en vigueur en Algérie.....	4
I.6. Les déchets en Algérie.....	6
I.6.1. Différents type de déchets produits en Algérie.....	7
I.7. Composition des déchets solides urbains en Algérie.....	8

Chapitre II : Analyse de cycle de vie d'un produit

II.1. INTRODUCTION.....	10
II.2. Définition du cycle de vie d'un produit	11
II.3. Types de cycle de vie.....	11
II.4. l'avantage de la connaissance de cycle du vie d'un produit.....	11
II.5. Importance de l'analyse de cycle de vie d'un matériau (ACV).....	12
II.5.1. Dommages écologiques.....	13
II.5.2. Dommages sur la santé.....	13
II.5.3. Diminution des ressources.....	13
II.6. Historique de l'analyse du cycle de vie	14
II.7. Méthodologie de L'ACV.....	14
II.7.1. Définition du champ de l'analyse.....	15
II.7.2. Inventaire des substances composant le produit	16
II.8. EXEMPLES d'application d'ACV.....	18
II.9. Introduction aux logiciels d'ACV : problématique relative à la modélisation.....	23
II.10. Coût d'une analyse de cycle de vie (ACV).....	24
II.11. Comparaison entre l'analyse du cycle de vie avec d'autres méthodes.....	25
II.12. Limites de la méthode.....	25

Chapitre III. Valorisation des déchets

III.1. Gestion des déchets.....	26
III.1.2 Collecte	27
III.1.3. Le tri	28
III.2. Procédés de traitement.....	28
III.2.1. L'enfouissement technique.....	30
III.2.1.1 Définition.....	30
III.2.1.2. Les centres d'enfouissement technique (CET).....	31
III.2.2. Valorisation des déchets.....	33
III.2.2.1. La valorisation énergétique : Incinération	34
III.2.2.2 Valorisation de la matière (Compostage / Méthanisation).....	36

Chapitre IV : Recyclage des déchets

IV.1.INTRODUCTION.....	40
IV.2. Historique du recyclage	41
IV.3. Procédés du recyclage.....	41
IV.4. La chaîne de recyclage	41
IV.5. Déchets recyclés	42
IV.5.1. Déchets usuels inertes	42
IV.5.2. Déchets usuels non inertes	44
IV.5.3. Déchets industriels dangereux	44
IV.6. Impact du recyclage dans l'industrie.....	46
IV.7. Impact du recyclage sur l'environnement	47
IV.7.1. Protection des richesses naturelles.....	47
IV.8. Recyclage actuel en Algérie	48
IV.9. Comment Choisir un matériau ?.....	51
IV. 10. Relation matériau – propriétés.....	53
IV.11. Critères de choix d'un matériau.....	53
IV.12. Concevoir pour mieux recycler : Adéquation produit / procédés de valorisation.....	55
IV. 13. Intégration des contraintes de la valorisation en fin de vie lors de la conception de produit.....	56

IV.14. Exemples de recyclages des déchets en nouveaux matériaux.....	58
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	69

Chapitre I : Généralités sur les déchets

I. INTRODUCTION

Depuis quelques années nous remarquons, que la qualité de l'air, de l'eau et de la terre se détériore en raison de certains paramètres, dont notamment la pollution et l'accroissement de la quantité de déchets. C'est pour cela qu'actuellement, de nombreux pays cherchent un moyen pour valoriser et réutiliser certains déchets.

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traitabilité. Il s'agit donc de *«mesurer pour connaître et connaître pour agir»*.

Cette approche du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir ?

I.1. Qu'est ce qu'un déchet ?

Qu'est-ce qu'un déchet ? A partir de quand un objet entre-t-il dans la catégorie des déchets ? A qui appartiennent les déchets ? Un déchet a-t-il de la valeur ? Que fait-on des déchets ? Voilà les questions auxquelles nous devons apporter une réponse au cours de ce chapitre.

Le petit Robert donne la définition suivante : « un déchet est tout objet dont le détenteur veut se débarrasser ».

Selon l'article 3 de Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relatif à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, cité dans le Journal Algérien N°77, on entend par déchets : tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation et toutes substances, matériaux, produits ou, plus généralement, tout objet, bien, meuble dont le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a l'obligation de se défaire ou de l'éliminer.

I.2. Origine des déchets

Les origines des déchets sont :

- Biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites ;
- Chimiques : toute réaction chimique est régie par les principes de la conservation de la matière et dès lors, si l'on veut obtenir un produit C à partir des produits A et B par la réaction $A + B \rightarrow C + D$; D sera un sous-produit qu'il faut gérer si on n'en a pas l'usage évident.
- Technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchets ;
- Economiques : les produits en une durée de vie limitée ;
- Ecologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessitent une gestion spécifique ;
- Accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de consommation sont aussi à l'origine de déchets.

I.3. Composition chimique d'un déchet

Les déchets sont pour la plupart constitués des mêmes molécules chimiques que celles des produits de départ. Ce qui différencie les déchets des autres produits provient d'un certain nombre de particularités ; Certains déchets résultent du traitement involontaire de molécules usuelles avec production de sous produits de composition, a priori inconnu ; tel que la *putréfaction*.

Par ailleurs, le déchet peut se retrouver dans un milieu dont il n'est pas issu en tant que produit et de ce fait auquel il n'est pas destiné. Enfin, le mélange au hasard des déchets peut conduire à la formation de produits nouveaux suite à des interactions chimiques.

I.4. Différentes classes de déchets selon l'Article 5, loi n° 01-19 du 12 décembre 2001.

J.O.A. N°77 :

Les déchets au sens de la présente loi comprennent trois grandes catégories :

- a. Les déchets ménagers et assimilés ;
- b. Les déchets spéciaux (industriels, agricoles, soins, services,...) ;
- c. Les déchets inertes.

a. Les déchets ménagers et assimilés

Il s'agit de tous les déchets issus des ménages, des activités industrielles, commerciales, artisanales et autres, qui sont assimilables aux déchets ménagers par leur nature et leur composition, tels que les déchets de cuisine, emballages...

b. Les déchets spéciaux

Cette catégorie de déchets ne sont pas assimilés aux déchets ménagers et nécessitent un mode spécifique de traitement en raison de leur nature et de leur composition. L'origine de ces déchets est l'activité industrielle, agricole, les soins, les services et toutes autres activités, qui ne peuvent être collectés, transportés et traités dans les mêmes conditions que les déchets ménagers et assimilés. Il existe un cas particulier de déchets spéciaux, qui sont susceptibles de nuire à la santé publique et à l'environnement via leurs constituants ou par leurs matières nocives. On parle ici de déchets spéciaux dangereux.

1. Les déchets d'activités de soins

On désigne sous ce terme les déchets venant des hôpitaux et cliniques et des métiers de la santé, mais aussi de divers établissements de soins tels que maisons de retraite, les dispensaires, les services vétérinaires... La responsabilité de l'élimination de ces déchets incombe au producteur.

2. Les déchets agricoles

Ils proviennent de l'agriculture, de la sylviculture et de l'élevage. Beaucoup de ces déchets sont liquides et à ce titre, peuvent être considérés comme des effluents. Certains d'entre eux sont utilisés sur place en raison de leur richesse en matières organiques. Dans cette catégorie, nous pouvons citer les déjections d'élevage et les déchets des cultures et de la forêt.

c. Les déchets inertes

Ce sont notamment, les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge. Ces déchets proviennent de l'exploitation des mines, des carrières, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation. Ils ne sont pas contaminés par des substances dangereuses ou autres éléments générateurs de nuisances et susceptibles de nuire à la santé et à l'environnement.

I.5. Gestion des déchets selon la réglementation en vigueur en Algérie

Selon l'article 3 de Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets, la gestion des déchets est définie comme :

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

- **Collecte des déchets** : le ramassage et/ou le regroupement des déchets en vue de leur transfert vers un lieu de traitement.
- **Tri des déchets** : toutes les opérations de séparation des déchets selon leur nature en vue de leur traitement.
- **Traitement écologiquement rationnel des déchets** : toute mesure pratique permettant d'assurer que les déchets sont valorisés, stockés et éliminés d'une manière garantissant la protection de la santé publique et /ou de l'environnement contre les effets nuisibles que peut générer ces déchets.
- **Valorisation des déchets** : toutes les opérations de réutilisation, de recyclage ou de compostage des déchets.
- **Elimination des déchets** : toutes les opérations de traitement thermique, physico-chimique et biologique, de mise en décharge, d'enfouissement, d'immersion et de stockage des déchets, ainsi que toutes autres opérations ne débouchant pas sur une possibilité de valorisation ou autre utilisation du déchet.
- **Immersion des déchets** : tout rejet de déchets dans le milieu aquatique.
Enfouissement des déchets : tout stockage des déchets en sous-sol.
- **Installation de traitement des déchets** : toute installation de valorisation, de stockage, de transport et d'élimination des déchets.
- **Mouvement des déchets** : toute opération de transport, de transit, d'importation et d'exportation des déchets.

I.6. Les déchets en Algérie

Les estimations faites par la Banque mondiale et le MATE en 2002 montrent qu'en grande partie, ce gisement est composé de déchets ménagères (DM). Leur composition est largement dominée par les déchets organiques.

En 2016, l'Agence nationale des déchets a recensé 22,94 millions de tonnes de déchets dont 11,5 millions de tonnes de déchets ménagers et assimilés, 11 millions de tonnes de déchets

inertes (céramiques et débris de travaux de construction ou de démolition) et 400 000 tonnes de déchets spéciaux, valeurs rapportés par le journal le soir d'Algérie du 3/04/2017.

I.6.1. Différents types de déchets produits en Algérie

a. Déchets solides urbains

La génération des déchets solides urbains est déjà évaluée à environ 8.5 millions de tonnes par an, soit 23 288 tonnes par jour en 2005, et cette production connaît une progression sensible. Selon le MATE, le seuil des 12 millions de tonnes de déchets solides urbains est certainement franchi en 2010. Les déchets solides urbains résultent de la consommation des ménages, des établissements publics (écoles, hôpitaux, etc.), locaux commerciaux et des entreprises. Les quantités de déchets produites varient d'une ville à l'autre dans les pays en voie de développement, en fonction de plusieurs facteurs, dont le plus important reste la croissance démographique.

Les quantités totales de déchets ménagers assimilés (DMA) collectées par le service public entre 1994 et 2007, sont représentées dans le tableau I.1 :

Tableau I.1 : Estimation de l'émission totale des déchets ménagers et assimilés en (Millions/tonnes).

	Total collecte DMA	Total des ordures ménagères	Estimation de l'émission totale des DMA
1994	4,511	4,374	5,607
1995	5,173	5,004	6,408
1996	5,813	5,616	7,186
1997	5,957	5,744	7,361
1998	6,292	6,057	7,721
1999	6,976	6,707	8,499
2000	7,585	7,275	9,185
2001	8,038	7,681	9,668
2002	8,638	8,239	10,349
2003	9,091	8,641	10,919
2004	9,490	8,940	11,538
2005	10,595	9,936	12,634
2006	11,891	11,112	14,164
2007	13,166	12,247	15,661
Taux de variation annuel moyen	7,95	7,63	7,61

Source: AND, MATE, Metap, CNES, Presses

La forte progression des déchets collectés s'explique d'une part, par une progression relativement forte des quantités d'ordures ménagères qui demeure la source principale du flux collecté et d'autre part, par une amélioration des moyens affectés par l'État à cette opération. À cela s'ajoute le facteur comportemental caractérisé par l'évolution de la société algérienne en général vers une société de consommation avec l'intégration de l'Algérie dans l'économie de marché.

b. Déchets industriels spéciaux

En 2002, selon le cadastre national des déchets spéciaux, la production de déchets industriels spéciaux est de 325 000 t/an et la quantité en stock est de 2 008 500 tonnes. Les 12 plus grands générateurs de déchets se trouvent dans les régions Centre, Est et Ouest. Ils produisent près de 87% de déchets au niveau national soit 282 800 tonnes par an, et près de 95% en stock soit 1 905 200 tonnes.

Le tableau I.2 suivant donne la répartition des déchets spéciaux de quatre régions les plus importantes (2004) :

Tableau I.2. Répartition des déchets spéciaux par région

Région	Production t/an	%	Stock tonnes	%
Est	145000	45	1100800	54
Ouest	98550	30	521800	26,8
Centre	77007	23,6	378000	18,8
Sud Est, Sud Ouest	4500	1,4	-	0,4

Source : MATE 2004

En se référant à la figure I.1, nous remarquons que le secteur des hydrocarbures et de la chimie génèrent 57% des déchets spéciaux suivi par le secteur de sidérurgie (16%) et celui des mines avec un taux de 13%. Plus de 10% du total des déchets spéciaux sont répartis entre le textile (4%), le papier, le ciment et dérivés (2%), l'agroalimentaire (2%), la mécanique (2%) et autre (2%).

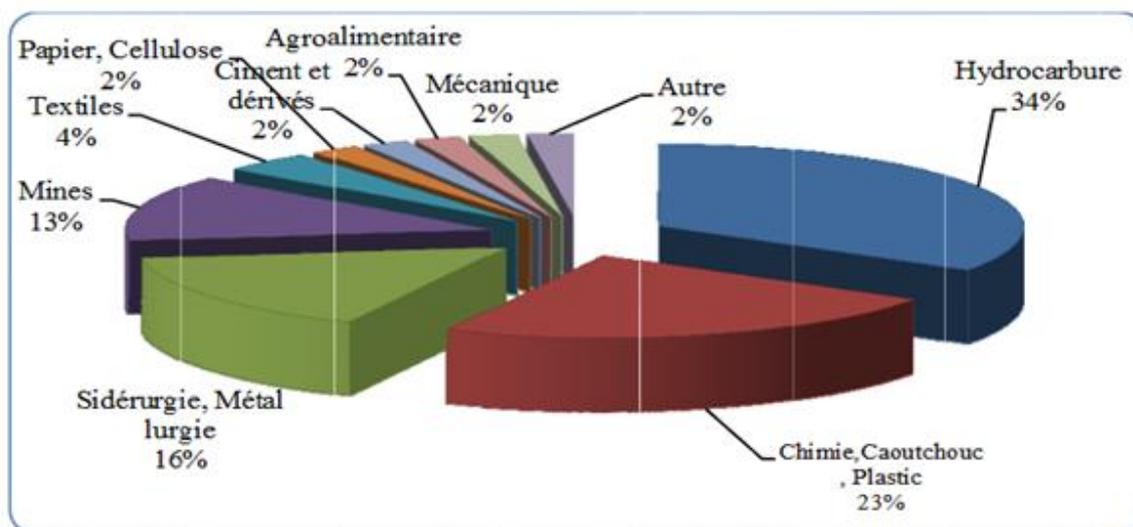


Figure I.1. Différents secteurs générateurs des déchets

c. Déchets d'activités de soin

En 2002, le cadastre des déchets de soins a recensé plus de 40 190 tonnes de déchets hospitaliers avec 43% pour la région sanitaire du Centre, 29% pour la région sanitaire Est, 22% pour la région sanitaire Ouest, 4% pour la région sanitaire Sud-est et 2% pour la région sanitaire Sud- Ouest.

Selon une étude réalisée par Bendjoudi en 2009, sur les déchets de soin dans la Wilaya de Mostaganem, la production annuelle de déchets de soins infectieux dans cette Wilaya est évaluée à 92 tonnes, soit 1,38 % de la production nationale. Cela représente une moyenne de 0,15 kg/lit/jour, valeur inférieure à la moyenne nationale qui est de 0,72 kg/lit/jour.

d. Déchets inertes

Comme nous l'avons défini précédemment, ce sont les déchets qui ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique lors de leur mise en décharge. Ces déchets proviennent de l'exploitation des mines, des carrières, des travaux de démolition, de construction ou de rénovation qui ne sont pas contaminés par des substances dangereuses

Le D'après le Centre National d'Étude et de Recherche Intégrée en Bâtiment (CNERIB), 300 000 à 500 000 t/an de déchets inertes sont produits dans quatre wilayas de la région centre dont 12% d'acier et 40% de béton. En 2003, suite au séisme qui a touché la wilaya de Boumerdès, plus de 2,5 M de tonnes de déchets inertes ont été enregistrées.

I.7. Composition des déchets solides urbains en Algérie

Le flux des déchets est un mélange hétérogène de produits et matériaux dont la composition varie avec ses sources de génération, ainsi bien que la classification socio-économique de la localité. Cependant les déchets organiques d'origine alimentaire prédominent comme il est montré sur la figure I.2 suivante :

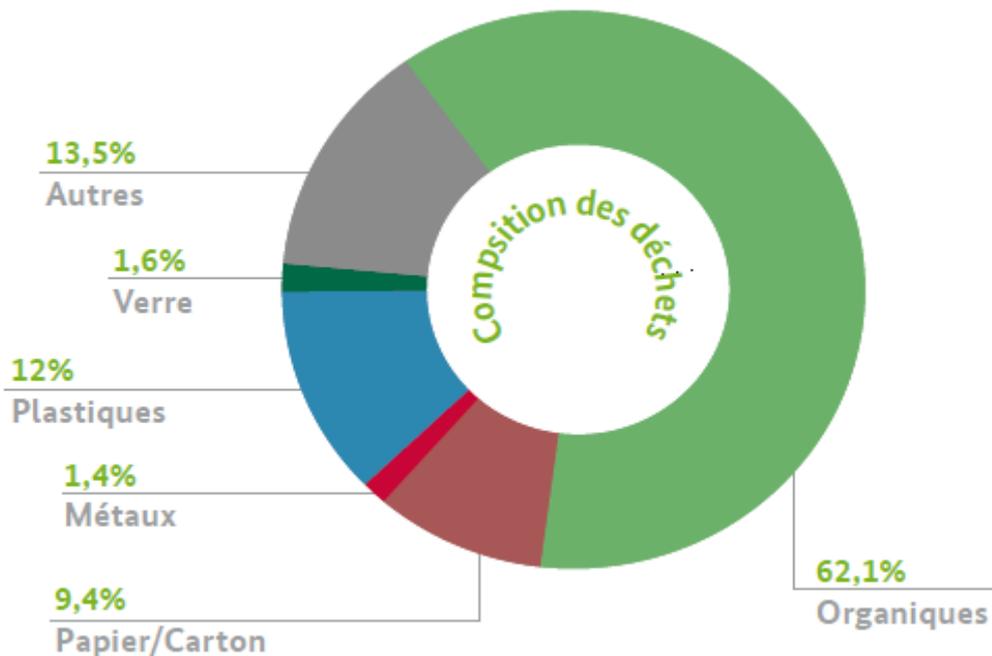


Figure I.2 Composition des déchets ménagers en Algérie (2014)

En effet, nous constatons que les principaux composants sont les résidus alimentaires (organiques) avec un taux moyen de 72 %, les plastiques 10 %, le papier/carton 9,3 %, le verre 1,36 %, les métaux 3,2% et les chiffon et autres 4,14% .

Cette composition reflète le mode de consommation des ménages algériens qui est basé pour une grande partie sur les produits frais (fruits et légumes) conjuguée à l'absence de la culture des produits de conserves.

- Les plastiques qui arrivent en seconde position proviennent des bouteilles en plastique (huiles, eau minérales et les boissons diverses), les sachets en plastique et les emballages.

- Le papier et le carton sont issus des journaux, des briks de boissons, des cahiers etc....
- Les métaux ferreux et non ferreux proviennent des cannettes de boissons et de vieux matériels.
- Le verre des bouteilles et de vitrages.

Chapitre II : Analyse du cycle de vie d'un produit (ACV)

II. INTROUCTION

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 récupérer les déchets. La figure II.1 représente un schéma simplifié du processus de recyclage, qui va de la collecte à la fabrication d'un nouveau produit issu des déchets.

Avant de s'attaquer aux techniques et aux procédés de recyclage, il est important de connaître la signification du *cycle de vie* d'un matériau ou produit. Puisqu'on parle de produit en fin de vie, cela sous entend que ces produits sont fabriqués pour une durée de vie bien précise et pour un besoin bien précis.

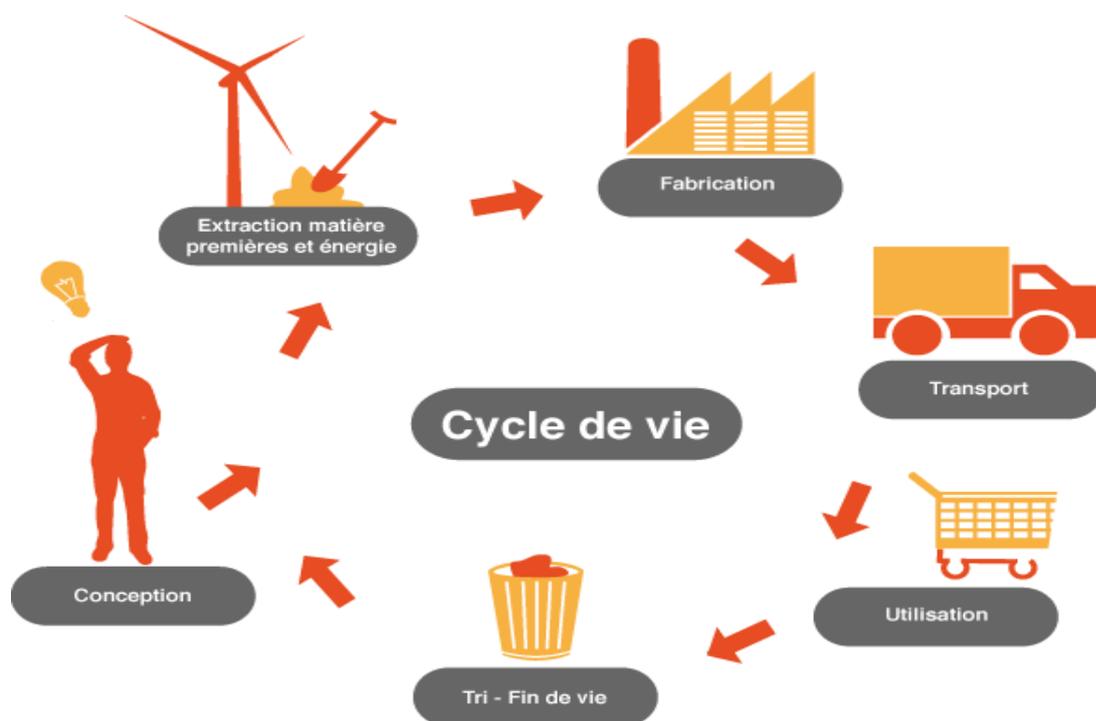


Figure II.1. Schéma définissant le cycle de vie d'un matériau

II.1. Définition du cycle de vie d'un matériau

C'est la description d'un processus couvrant les phases de :

- **Création** d'un produit,
- **Distribution** sur un marché,
- **Disparition** de la circulation

II.2. Types de cycles de vie

On distingue deux types de cycle de vie

- Le cycle de vie qui s'applique à tous les types de produits, et qui peut être considéré comme un outil de gestion ;

- Le cycle de développement des logiciels qui s'insère dans le précédent, on l'appelle souvent abusivement cycle de vie des logiciels

II.3. Avantages de la connaissance du cycle de vie d'un produit

- Maîtriser au mieux les délais et les coûts de la fabrication d'un produit puisque la phase de planification permet de découper le projet en tâches, de décrire leur enchaînement dans le temps, d'affecter à chacune une durée et un effort à réaliser.

- Obtenir une qualité conforme aux exigences. La aussi, il est également important de définir les normes qualité qui seront appliquées comme la méthode de conception choisie ou les règles qui régiront les tests.

- Maîtriser les risques environnementaux, etc....

II.4. Définition de l'analyse du cycle de vie d'un matériau

C'est un outil d'évaluation de l'impact environnemental d'un produit, en considérant **toutes les étapes de son cycle de vie** et **plusieurs catégories d'impact** environnemental.

La finalité première d'une ACV (Analyse du Cycle de Vie) est d'être un outil d'aide à la décision permettant au producteur de biens ou de services de faire un bilan comparatif de l'impact environnemental de son produit ou service pour ensuite définir des priorités d'action en matière d'environnement, et ce, en fonction de l'ensemble des mesures réalisables et des contraintes, notamment économiques.

Elle a aussi l'avantage d'offrir aux entreprises des outils de gestion qui leur permettent de distinguer leur impact environnemental de celui de leurs partenaires ou même de repenser la conception de leurs produits de façon à améliorer leur empreinte environnementale.

Trois organisations sont impliquées dans le développement des ACV: l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), la Société de Toxicologie et Chimie Environnementale (SETAC) et le programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) (Jolliet et al, 2005). L'ISO a déjà publié jusqu'à maintenant plus de 350 normes relatives à l'environnement. Elle a également édité la série ISO 14000 touchant aux systèmes de management environnemental. Cette série permet aux entreprises de biens ou de services de gérer l'impact de leurs activités sur l'environnement et de mesurer leurs performances environnementales. Dans cette série de normes, plusieurs sont consacrées à l'analyse du cycle de vie (ACV), dont les normes ISO 14020 à ISO 14025 qui concernent les principes de marquage et de déclarations environnementales ainsi que les normes ISO 14040 à ISO 14044 qui traitent de la méthodologie des outils de management environnemental.

II.5. Importance de l'analyse de cycle de vie d'un matériau (ACV)

L'analyse du cycle de vie permet de :

- Mieux concevoir ; elle aide dans la conception de produits
- Mieux agir ; elle permet de définir des priorités d'action en matière d'environnement
- Mieux communiquer ; elle sert comme d'appui à une démarche marketing lors d'un lancement de produits
- Mieux piloter ; elle permet le contrôle de la gestion des flux matière et énergie d'un site

L'ACV répond également au principe dit « multicritères », c'est-à-dire que plusieurs impacts environnementaux sont amenés à être évalués, comme il est si bien illustré sur la figure II.2 Ces impacts sont répertoriés en trois grandes catégories : les dommages sur la santé, la diminution des ressources et les dommages écologiques.

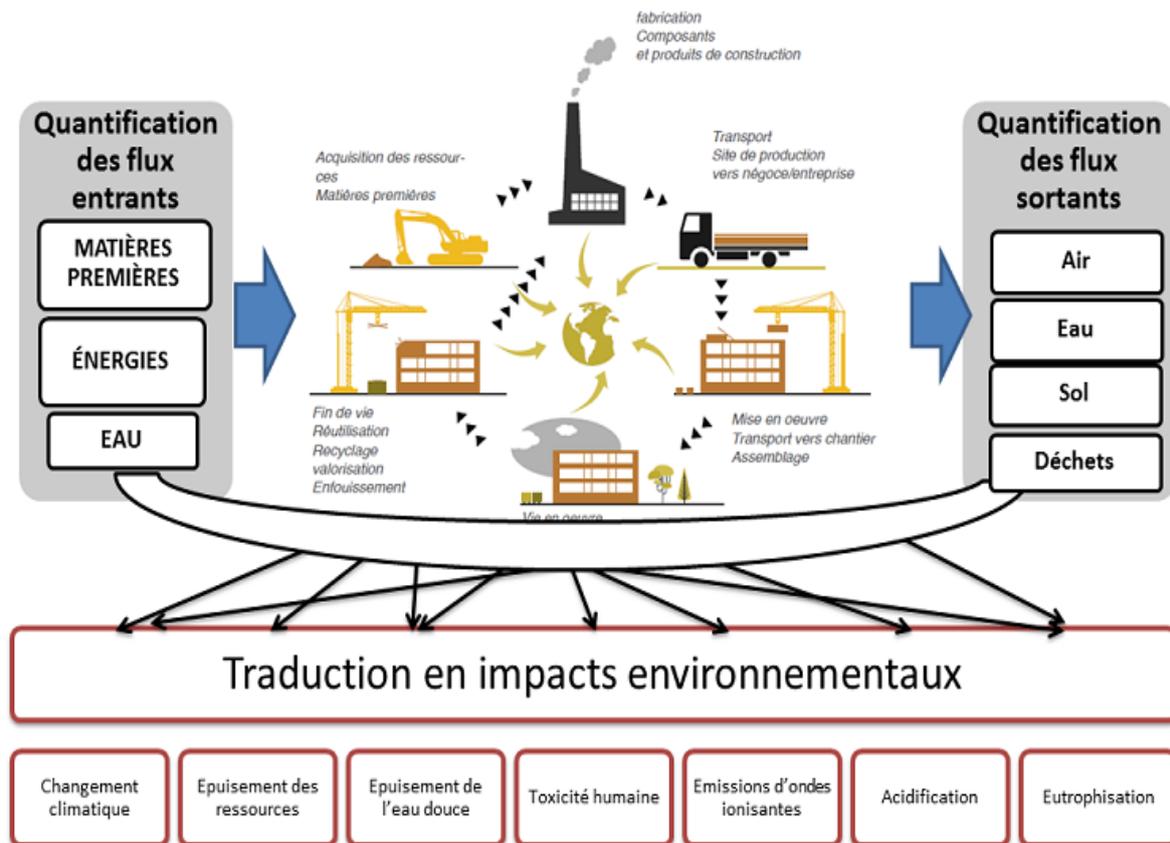


Figure II.2. ACV : méthode multicritères

II.5.1. Dommages écologiques

- Effet de serre
- Détérioration de la couche d'ozone
- Pluies acides
- Eutrophisation
- L'altération de l'habitat
- Eco-toxicologie etc....

II.5.2. Dommages sanitaires

- Smog photochimique
- pollution de l'air
- Substances toxiques Carcinogènes

II.5.3. Diminution des ressources

- Les ressources abiotiques
- Pétrole
- Eau
- Minerais
- Sol

II.6. Historique de l'analyse du cycle de vie

La pensée du cycle de vie semble avoir été utilisée pour la première fois, lors d'une analyse du cycle de vie (ACV) réalisée en 1969 pour l'entreprise Coca-Cola. L'entreprise voulait prendre une décision éclairée pour le choix du type d'embouteillage à privilégier. Il semble que le résultat de cette étude ait démontré que, contre toute attente, la bouteille en plastique était alors moins dommageable pour l'environnement que celle en verre. Cette étude complète n'a cependant jamais été publiée en raison de la confidentialité des données.

Dans les années 1970, la crise du pétrole a plutôt favorisé le développement d'outils évaluant l'efficacité énergétique, au détriment d'outils plus globaux, tels que l'ACV. C'est néanmoins dans cette décennie que la première base de données publique d'analyse du cycle de vie est apparue en Suisse sous le nom de BUWAL. À la fin des années 1980, l'intérêt pour l'ACV est haussé par la problématique des déchets solides, et c'est au début des années 1990 qu'a commencé le processus de normalisation de la méthodologie de l'ACV.

Plusieurs organisations se sont impliquées dans le développement et la standardisation de l'ACV à l'international. Les trois plus importantes sont la Société de Toxicologie et Chimie Environnementale (SETAC, 2015), l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE).

II.7. Méthodologie de l'ACV

Elle vise à dresser le profil environnemental d'un produit en prenant en compte toutes les étapes du cycle de vie d'un produit " du berceau à la tombe ", donc depuis l'extraction des matières premières à la fin de vie, en passant par toutes les étapes intermédiaires : production, transport, consommation. Ceci est réalisé en effectuant la sommation des flux entrants et sortants du système étudié.

En gros, l'évaluation environnementale d'un système (produit) se présente comme il décrit dans la série des normes ISO 14040 qui explique la méthodologie et la déontologie que doivent suivre les analyses de cycle de vie du produit. Celle-ci se déroule en quatre étapes (figure II.3) :

- La définition des objectifs.
- L'inventaire des ressources naturelles consommées et des substances émises au cours du cycle de vie.
- L'évaluation des impacts sur l'environnement.
- La recherche d'amélioration suite à l'interprétation des résultats.

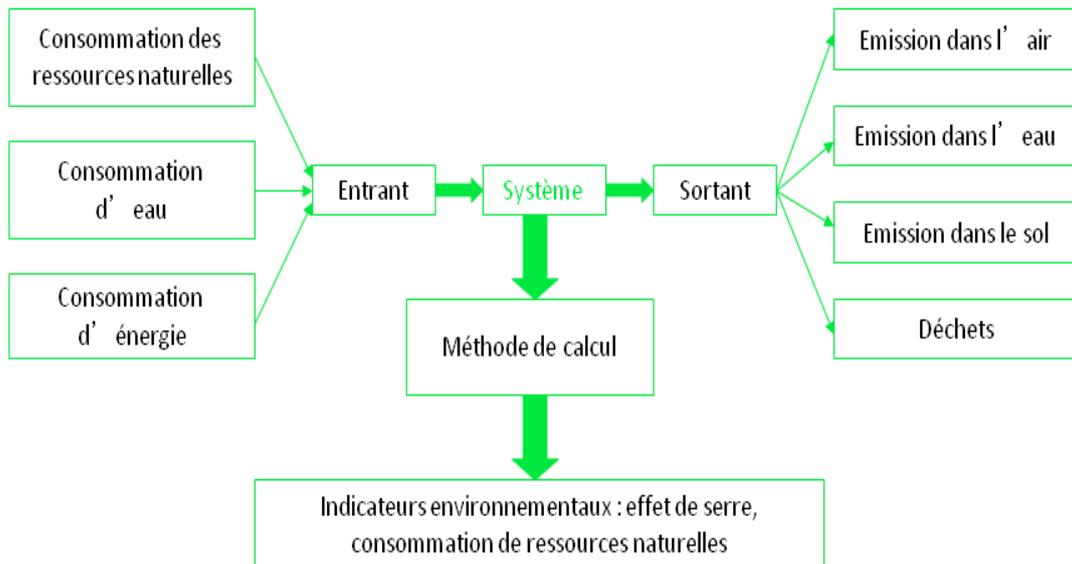


Figure II.3. Arbre du processus et des principales étapes du cycle de vie d'un produit

II.7.1. Définition du champ de l'analyse

- La première étape est la définition des objectifs et du champ de l'étude pour éviter des interprétations erronées ou des généralisations de résultats. Cette phase détermine une série d'éléments cruciaux : la fonction du système, l'unité fonctionnelle (Il s'agit de l'unité de compte à laquelle va se référer le bilan environnemental ou l'ACV ; On choisit, par exemple, le m²/h pour un produit de couverture, pour un produit de cloisonnement ou pour un mur) à laquelle les émissions et les extractions seront ensuite rapportées.
- La sélection des données retenues pour l'étude dépend de l'objectif fixé. L'ACV peut être limité à un seul impact dans certains cas comme l'effet de serre ou la quantité de déchets produits.

Un exemple de définition du champ d'une étude est donné sur la figure II.4.

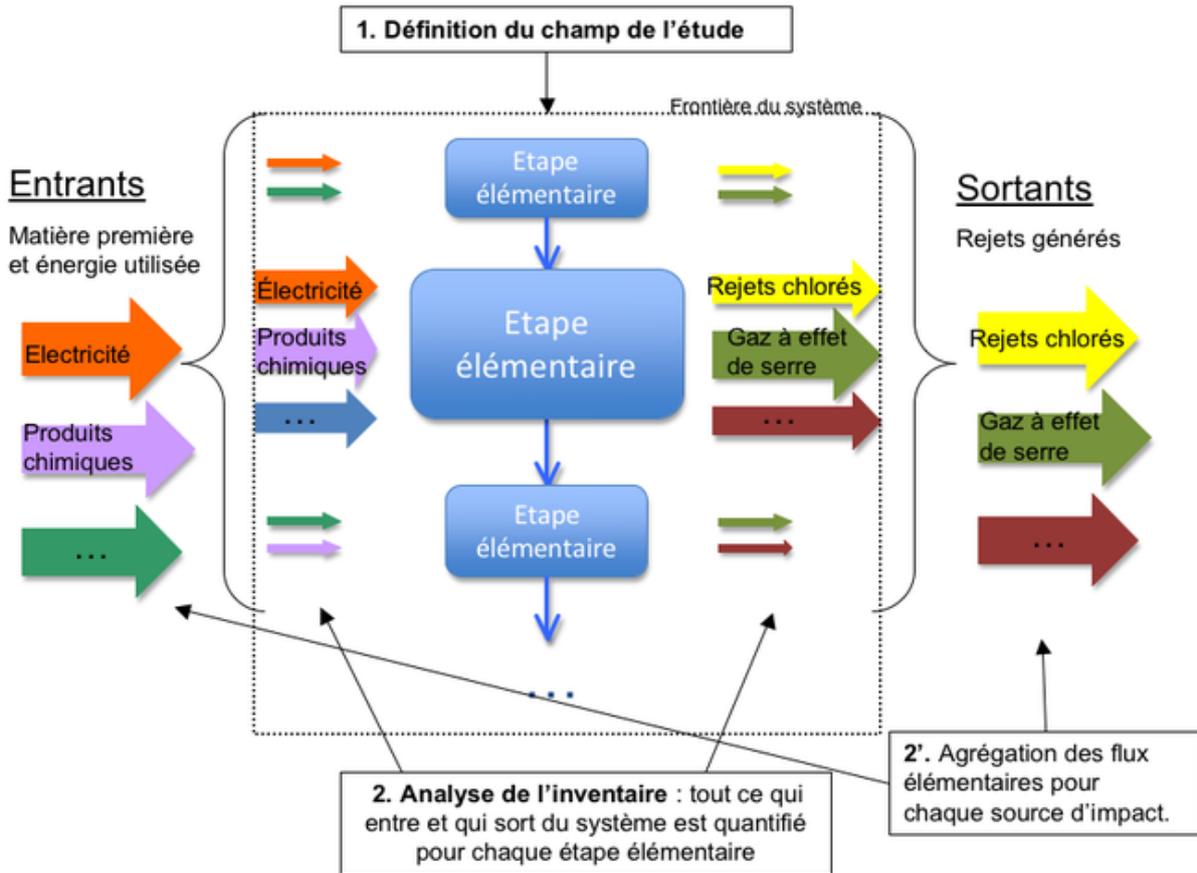


Figure II.4. Exemple de définition du champ de l'étude

II.7.2. Inventaire des substances composant le produit

Dresser le profil environnemental d'un produit, c'est connaître ses impacts sur l'environnement. Il faut prendre en compte les flux de matière et d'énergie entrants (matières premières, énergie) et sortants (rejets, déchets) nécessaires à la fabrication du produit. Autrement dit, quantifier les émissions polluantes dans l'air, l'eau et le sol ainsi que les extractions des matières premières renouvelables et non renouvelables. Elle détermine également l'utilisation des sols nécessaires pour la réalisation de la fonction du système.

C'est donc un inventaire des substances qui composent le produit et de leurs impacts négatifs sur l'environnement.

Remarques

1. La collecte de renseignements est la plus compliquée. Cela consiste à envoyer un questionnaire à l'ensemble des fournisseurs.

2. Certaines fédérations professionnelles peuvent mettre à disposition des utilisateurs des données sur les impacts environnementaux de certains matériaux tout au long de leur cycle de vie, qui peuvent être utilisées pour faire une ACV.

3. Estimation des impacts environnementaux / Analyse de l'impact

Il s'agit d'évaluer l'impact sur l'environnement des émissions et extractions inventoriées pour déterminer quelles émissions contribuent à quel impact environnemental (effet de serre, toxicité humaine, écotoxicité..). On dénombre plusieurs méthodes d'évaluations : IMPACT 2002+, Ecoindicator 99, LUCas,. La méthode IMPACT 2000 est présentée sur la figure II.5 ci-dessous :

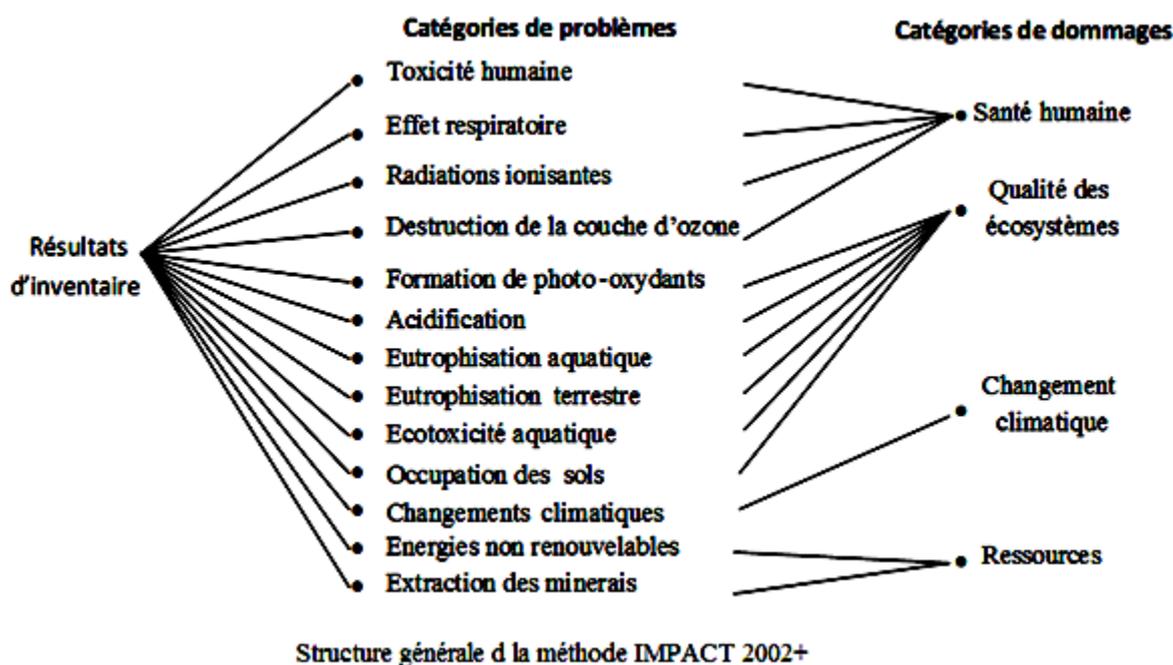


Figure II.5. Méthode d'évaluation - IMPACT 2002+

Cette évaluation, souvent étayée via des modèles référents, est réalisée pour chacun des flux entrants et sortants inventoriés. Ensuite, l'ACV prend en compte l'ensemble des impacts environnementaux générés par les flux.

Il existe certains logiciels qui permettent d'analyser les impacts environnementaux des produits à partir des données d'inventaire dans le cadre de l'ACV.

4. **Analyse des résultats et interprétation** : les résultats de l'ACV sont mis en regard des objectifs initiaux de l'étude. Cette confrontation peut déboucher sur une liste argumentée de recommandations, tant dans la perspective d'une révision de la conception du produit que pour l'optimisation de son utilisation en termes d'impacts environnementaux.

II.8. Exemples d'application de l'ACV

Exemple 1 : Analyse du Cycle de Vie pour l'usage d'un téléphone portable de moyenne gamme, sur la base de 11 minutes par jour pendant 2 ans.

Une Analyse de Cycle de Vie a été réalisée pour le compte de l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie). Cette ACV concernait l'usage d'un téléphone portable de moyenne gamme, sur la base de 11 minutes par jour pendant 2 ans. Elle était destinée à l'information du grand public, dans le cadre d'un potentiel de renouvellement de matériel.

Les résultats de l'étude ont donné lieu aux recommandations suivantes :

- Éviter les modèles à écran de grandes dimensions
- N'activer qu'en cas de besoin les fonctions gourmandes en énergie (GPS, wifi, données internet...)
- Débrancher le chargeur après utilisation
- Retarder le renouvellement si l'appareil fonctionne correctement
- Confier systématiquement un appareil inutilisé à une filière de reconditionnement ou de recyclage.

Exemple d'application : Analyse du cycle de vie pour deux types de lampes (incandescente et fluorescente).

Etape 1. Définition du champ de l'analyse illustré par la figure II.6

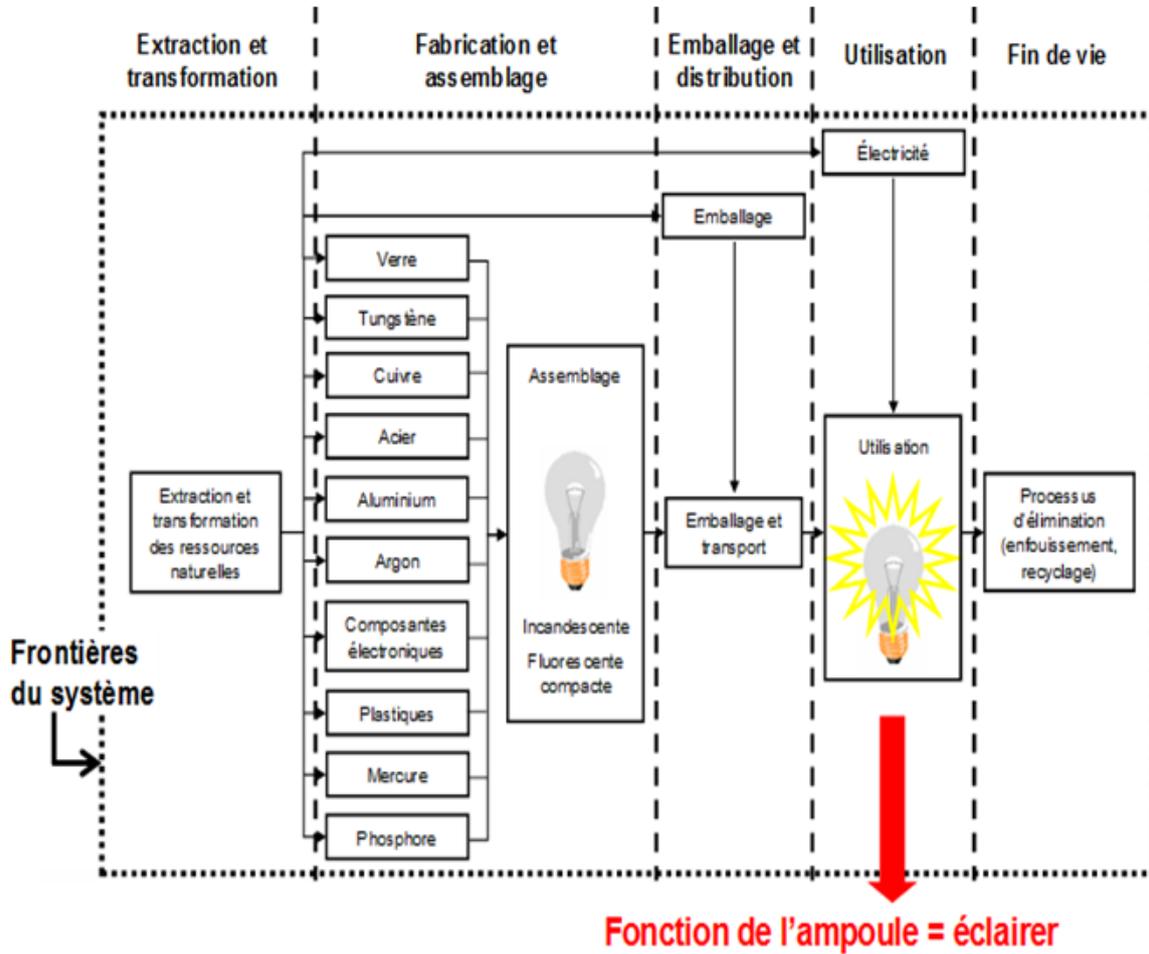


Figure II.6. Cycle de vie d'une ampoule.

Etape 2: Inventaire de l'ACV

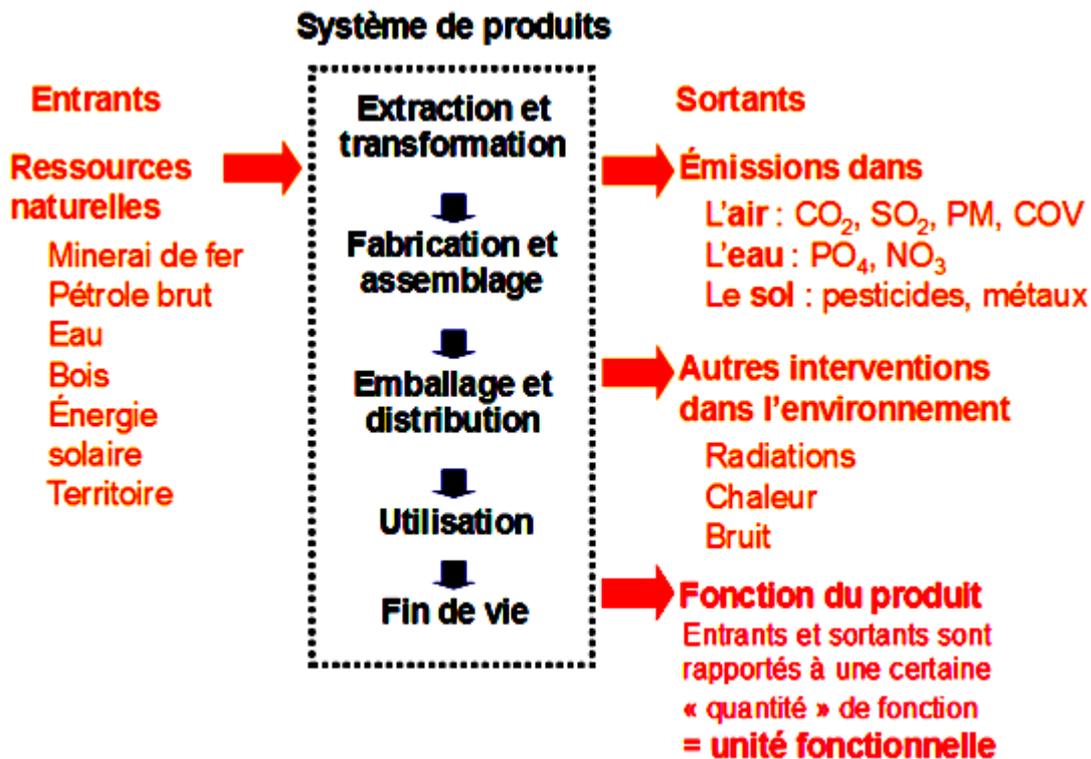


Figure II.7. Inventaire du cycle de vie d'une ampoule

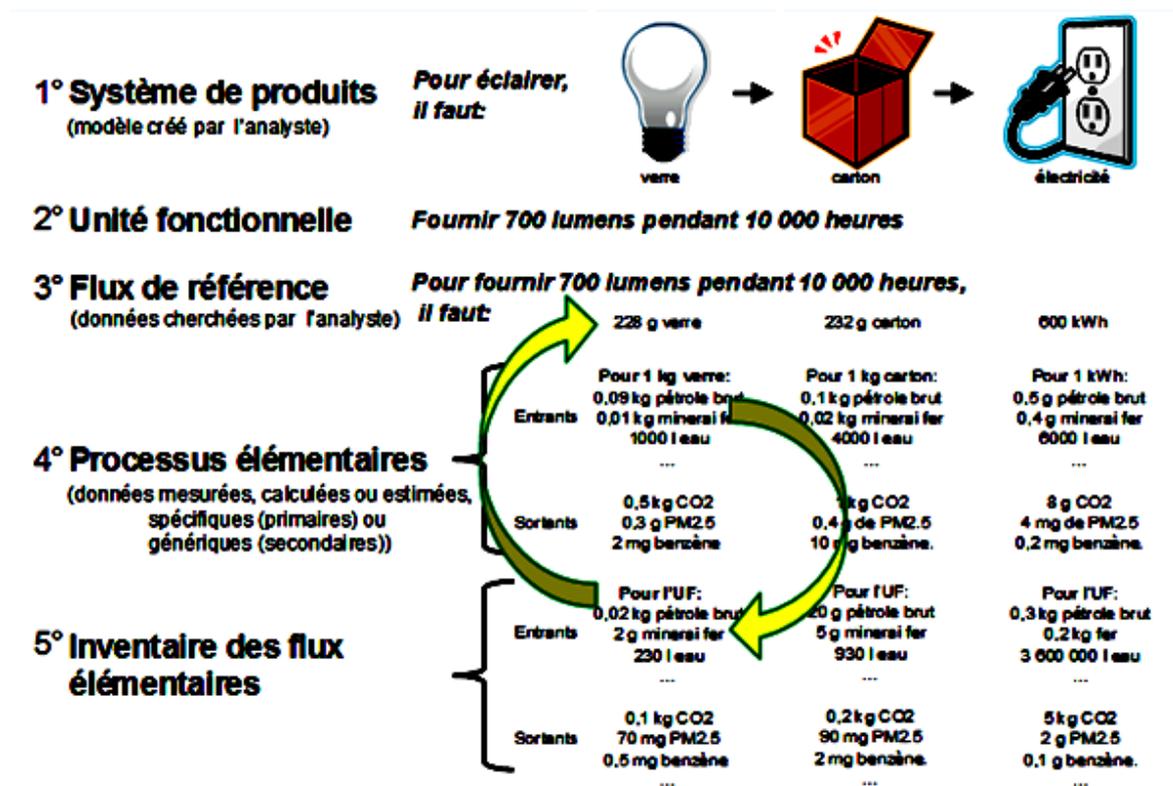


Figure II.8. Inventaire pour une ampoule incandescente

Tableau II.1. Inventaire du cycle de vie d'une ampoule incandescence : son bilan d'énergie

Étape du cycle de vie	Quantité par UF (unité par UF)	Énergie primaire par unité (MJ/unité)	Énergie par UF (MJ/UF)
Fabrication et emballage			
Verre (0,025 g/amp.)	$0,025 \times 8 = 0,2 \text{ kg}$	12,7 MJ/kg	2,54
Cuivre (0,0025 kg/amp.)	$0,0025 \times 8 = 0,02 \text{ kg}$	29,6 MJ/kg	0,592
Carton d'emballage (0,01 kg/amp.)	$0,01 \times 8 = 0,08 \text{ kg}$	16,3 MJ/kg	1,30
Distribution			
Transport navire cargo (10 000 km Shanghai à Vancouver)	$(0,2 + 0,02 + 0,08) \times 10\ 000 = 3000 \text{ kg.km}$	0,168 MJ/1000 kg.km	0,504
Transport camion 32 t (4500 km)	$(0,3) \times 4500 = 1350 \text{ kg.km}$	2,79 MJ/1000 kg.km	3,77
Utilisation			
Électricité (60 W, 8 000h)	$60 \times 8\ 000 = 480 \text{ kWh}$	0,148 MJ/kWh	71,04 (88,9 %)
Collecte déchets			
Transport camion 32 t (50 km)	$(0,3) \times 50 = 15 \text{ kg.km}$	2,79 MJ/1000 kg.km	0,0419
Fin de vie			
Enfouissement – carton	$0,01 \times 8 = 0,08 \text{ kg}$	0,431 MJ/kg	0,0345
Enfouissement – verre et cuivre	$(0,025 + 0,0025) \times 8 = 0,22 \text{ kg}$	0,404 MJ/kg	0,0889
		TOTAL	79,9

Étape 3 : Évaluation de l'impact du cycle de vie

Tableau II.2. Catégories d'impacts et de dommage potentiels de la méthode IMPACT2002+

IMPACT 2002+	
Catégorie de dommage	Catégorie d'impact
Santé humaine (SH)	Effets cancérigènes
	Effets non-cancérigènes
	Effets respiratoires dus aux substances inorganiques
	Radiations ionisantes
	Détérioration de la couche d'ozone
	Oxydation photochimique
Qualité des écosystèmes (QE)	Écotoxicité aquatique
	Écotoxicité terrestre
	Acidification/eutrophisation terrestre
	Occupation des terres
Changement climatique (CC)	Réchauffement global
Ressources (R)	Énergies non renouvelables
	Extraction minière

Etape 4. Interprétation du cycle de vie des deux types de lampes

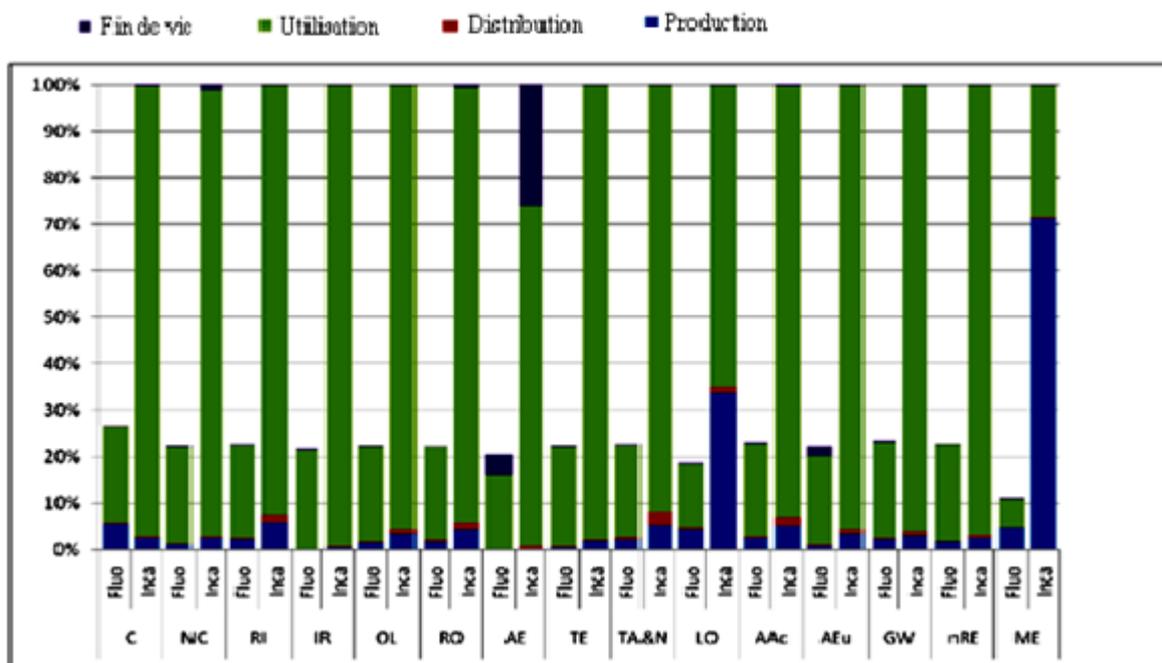


Figure II.9. Impacts des deux types d'ampoules

Tableau II.3. Catégories intermédiaires, substances de référence, catégories de dommages et unités de dommages utilisés dans IMPACT2002+

Catégorie intermédiaire	Substance de référence intermédiaire	Catégorie de dommages	Unité de dommage
Toxicité humaine (cancérogène)	kg chlorure de vinyle éq. dans l'air	Santé humaine	DALYs/unité émise
Toxicité humaine (non cancérogène)	kg chlorure de vinyle éq. dans l'air	Santé humaine	
Effets respiratoires	kg PM _{2.5} éq. dans l'air	Santé humaine	
Destruction de la couche d'ozone	kg CFC-11 éq. dans l'air	Santé humaine	
Radiations ionisantes	Bq Carbone-14 éq. dans l'air	Santé humaine	
Formation de photo-oxydants	kg éthylène éq. dans l'air	Santé humaine	Non disponible
Ecotoxicité aquatique	kg triéthylène glycol éq. dans l'eau	Qualité de l'écosystème	
Ecotoxicité terrestre	kg triéthylène glycol éq. dans l'eau	Qualité de l'écosystème	PDF·m ² ·an/unité émise
Acidification/ Eutrophisation terrestre	kg SO ₂ éq. dans l'air	Qualité de l'écosystème	En développement
Acidification aquatique	kg SO ₂ éq. dans l'air	Qualité de l'écosystème	
Eutrophisation aquatique	kg PO ₄ ³⁻ éq. dans l'eau	Qualité de l'écosystème	En développement
Occupation des sols	m ² terre éq.	Qualité de l'écosystème	PDF·m ² ·an/unité émise
Changement climatique	kg CO ₂ éq. dans l'air	Changement climatique	kg CO ₂ éq. dans l'air
Extraction de minerais	MJ d'énergie supplémentaire ou kg Fe éq. (minerai)	Ressources	MJ/unité émise
Energie non renouvelable	MJ totaux d'énergie non renouvelable ou kg pétrole brut éq.	Ressources	

Remarques :

-DALY.m².an (disability adjusted life years), c'est- à- dire en années équivalentes de vie perdue (années de vie en étant handicapé + années de vie perdues).

- PDF.m² = Potentially Disappeared Fraction of species; Le PDF équivaut à la fraction d'espèces disparue sur m² et pour une année.Ce concept se base sur l'hypothèse selon laquelle la biodiversité est directement liée à la qualité du milieu, les espèces disparaissent et réapparaissent en fonction de la concentration en polluant.

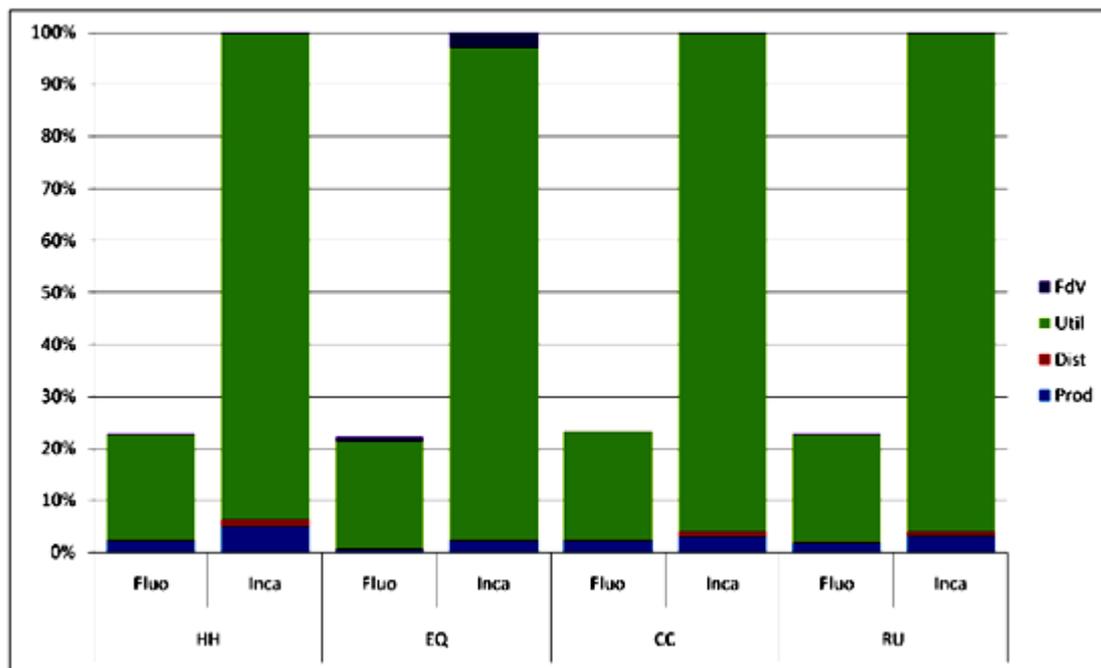


Figure II.10. Impacts des deux types d'ampoules pendant leur fabrication, utilisation, distribution et leur fin de vie

II.9. Introduction aux logiciels de l'ACV : problématique relative à la modélisation

Il est actuellement impensable de réaliser une Analyse du Cycle de Vie sans faire appel aux logiciels informatiques. Le volume très important de données à prendre en compte ainsi que le besoin de faire varier certains paramètres afin de comparer divers scénarios de cycle de vie sont des facteurs grâce auxquels ces outils logiciels ont connu récemment un essor très important. Ceci permet également un échange facile en termes de données utilisées ainsi que pour la mise en place des analyses de sensibilité et des calculs d'incertitudes.

Compte tenu des spécificités des divers domaines industriels et des besoins différents par rapport à la maîtrise de la méthodologie d'ACV, on trouve actuellement un nombre impressionnant de logiciels d'Analyse de Cycle de Vie. Ces outils sont réalisés soit par les industriels eux mêmes, soit par des instituts de recherche ayant participé à l'élaboration de

méthodes de calcul des impacts environnementaux, soit par des consultants en environnement ou en ACV.

Le choix d'un logiciel d'ACV devrait être fait par rapport au domaine d'application du logiciel, par rapport aux compétences de l'équipe qui réalise l'étude, aux types d'applications possibles, et notamment sur les divers critères relatifs à la modélisation des données et du cycle de vie du produit étudié.

II.10. Coût d'une analyse de cycle de vie (ACV)

L'ACV est une démarche complexe, il est donc conseillé de faire appel à des spécialistes. En outre, le coût varie essentiellement en fonction de l'exhaustivité de l'ACV. En effet, il est possible pour l'entreprise de choisir entre les différents types d'ACV présentés dans le tableau suivant :

Type d'ACV	Définitions	Coûts
ACV globale	L'analyse du cycle de vie global se veut la plus exhaustive. Elle prend en compte toutes les étapes du cycle de vie du produit et s'intéresse à tous ses aspects environnementaux (énergie, type et nature des rejets, substances, etc.).	Le coût sera environ de 50 000€*, mais cela peut varier en fonction de la complexité du produit.
ACV simplifiée	L'analyse du cycle de vie simplifiée est une méthode quantitative mais dont on a réduit le champ des aspects environnementaux. On le limite aux phases de cycle de vie les plus pertinentes. Exemple : la consommation énergétique à toutes les étapes de production.	< 50 000€*
Evaluation simplifiée et quantitative du cycle de vie (ESQCV)	L'ESQCV est une démarche réduite à certaines phases du cycle de vie. L'entreprise renseigne généralement un questionnaire balayant les phases sélectionnées selon divers critères environnementaux (nuisances induites durant la fabrication, l'utilisation ou la fin de vie, prélèvement des ressources naturelles,...). Les réponses apportées permettent de positionner le produit à un niveau "bon", "moyen", "faible" par rapport aux paramètres environnementaux.	< 50 000€* Accessible aux PME-PMI
Eco bilan	Une analyse du cycle de vie est assez lourde à mener, c'est pourquoi certaines entreprises préfèrent se limiter à l'étape d'inventaire, appelée "Eco bilan", qui leur permet d'identifier les flux d'énergie et de matières premières, donc de pouvoir mener une politique de réduction des coûts et impacts des produits sur l'environnement.	

II.11. Comparaison entre l'analyse de cycle de vie avec d'autres méthodes

Il existe d'autres méthodes d'analyse comme ; l'analyse des flux d'une substance, l'étude d'impact environnemental, l'analyse de risque, l'analyse de flux de matière et le bilan carbone. L'analyse du cycle de vie (ACV) est par contre la seule approche qui évalue les impacts potentiels d'un produit sur tout son cycle de vie de façon multicritère

L'analyse des flux d'une substance quantifie les flux et l'accumulation dans l'environnement d'une seule substance, par exemple le mercure ou d'un groupe de substances. L'étude d'impact environnemental évalue quant à elle des installations individuelles à construire et analyse l'impact environnemental d'un projet envisagé à un lieu précis mais elle correspond plus à une procédure juridique qu'à un outil d'analyse. L'analyse de risques étudie le risque ou la probabilité d'effets extrêmes d'une installation ou les risques liés à l'utilisation de substances chimiques.

L'analyse de flux de matière comptabilise les flux de matière qui interviennent dans le système économique d'une région donnée. Ces matières peuvent être des matériaux bruts comme le papier, le verre, le béton ou les plastiques ou parfois les composés techniques. Le Bilan carbone détermine les émissions directes ou indirectes de gaz à effet de serre d'un produit, d'une activité humaine ou d'une entreprise.

II.12. Limites de la méthode

On reconnaît certaines limites pratiques et conceptuelles à cette méthodologie comme les problèmes d'accès aux données, l'importance des incertitudes et la complexité des résultats. Mais globalement, l'ACV possède un énorme potentiel notamment grâce à son apport en matière d'éco-conception, c'est-à-dire au niveau de la conception de produits favorables à l'environnement. Grâce à l'ACV, on a pu définir plusieurs principes d'éco-conception.

Chapitre III : Valorisation des déchets

III.1. Gestion des déchets

La gestion des déchets solides est un processus qui intègre à la fois la production des déchets et leur traitement. L'établissement d'un plan est un facteur important dans la gestion des déchets pour minimiser la quantité de déchets solides produits.

Il est nécessaire pour les autorités régionales de disposer de données concernant le gisement des déchets afin d'en assurer une bonne gestion en utilisant des enquêtes sur terrain, des opérations de tri et des échantillonnages afin de caractériser ces déchets. Ce travail en aval de cette opération permet de :

- Estimer de la quantité des déchets produits,
- Calculer le ratio journalier des déchets par habitant
- Déterminer la composition physique des déchets
- Effectuer la caractérisation physico-chimique et microbiologique des déchets
- Définir la situation réelle de la collecte des déchets (modes, moyens, matériel,...)
- Faciliter le choix des équipements et des procédés de traitement

Il apparaît dès lors nécessaire de définir des objectifs dans le cadre de la gestion des déchets énoncés dans les lois, ordonnances et règlements (J.O.N°77). Ceux-ci ont pour objet :

- 1° **La prévention ou la réduction de la production et de la nocivité des déchets**, notamment en agissant sur la fabrication et sur la distribution des produits ;
- 2° **L'organisation du transport des déchets et la limitation** en distance et en volume ;
- 3° **La valorisation des déchets** par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets des matériaux réutilisables ou de l'énergie ;
- 4° **L'assurance de l'information du public** sur les effets pour l'environnement et la santé publique des opérations de production et d'élimination des déchets ainsi que sur les mesures destinées à en prévenir ou à en compenser les effets préjudiciables.

Le plan de gestion des déchets contient par la succession les phases suivantes, la production de déchets ; le tri et la collecte ; le recyclage ; le traitement thermique de la fraction non valorisable et l'élimination finale dans une décharge.

III.1.2 Collecte

Les quantités collectées concernant les déchets ménagers et assimilés, comprennent en effet une part de déchets non négligeable, de l'ordre de 20 % environ, qui ne sont pas produits par les ménages mais par des petites entreprises du commerce ou de l'artisanat. Ces déchets sont ramassés dans les mêmes conditions que les ordures ménagères, par exemple les papiers et cartons des petits commerces ou des services, les déchets de certains restaurants, etc. C'est également le cas de certains types de déchets déposés en déchèteries par les professionnels, comme les déblais et gravats ou certains déchets verts. Ceci a pour effet de majorer les quantités produites par habitant.

Cette quantité de déchets est divisée par la population résidente estimée de la zone de référence, afin d'éliminer l'effet dû à l'évolution de la population. Ensuite pour parvenir à réduire la masse de déchets, trois principes fondamentaux sont à retenir : bien trier, mieux acheter, limiter le gaspillage.

La quantité de déchets ménagers collectée par habitant rend compte des efforts faits par les collectivités pour améliorer la collecte des déchets des ménages: étendre la desserte et diversifier les services notamment par le tri sélectif et les déchèteries, couvrir le maximum des gisements de déchets en provenance des ménages. Cet indicateur rend compte également de la sensibilisation de la population à faire bien trier ses déchets pour augmenter le recyclage, éviter les dépôts « sauvages ». Il intègre aussi les disparités des modes de vie (urbain ou rural), des habitudes de consommation (produits frais ou préparés) et les effets des actions de réduction des déchets à la source (poids des emballages, récupération, ...).

Les quantités collectées dépendent des efforts de collecte des collectivités, des pratiques des ménages, des disparités de modes de vie, de tri, de la réduction des déchets à la source et aussi les facteurs dans les disparités territoriales ou les évolutions. Il est donc essentiellement important que la population puisse adhérer au système de Récolte Sélective pour que l'efficacité du système de gestion des déchets ne soit pas compromise.

Cependant, la quantité des déchets produits peut connaître des fluctuations au cours du temps, en une augmentation liée essentiellement à l'accroissement de la population et l'augmentation du ratio de production des déchets par habitant, dus essentiellement à l'amélioration du niveau de vie et des habitudes.

III.1.3. Le tri

Trier est une manière directe, simple et efficace d'agir pour notre environnement. Le tri des déchets est une opération lucrative, contribuant à la protection des ressources naturelles et à la réduction de la quantité des déchets. Cette notion désigne des actions consistant à séparer et récupérer les déchets selon leur nature. Ceci permet de leur donner une « seconde vie », le plus souvent par le réemploi et le recyclage, évitant ainsi leur simple destruction par incinération ou abondant en décharge, par conséquent, de réduire l'empreinte écologique. En effet, le tri n'est écologique que s'il est pratiqué « à la source », c'est-à-dire chez le producteur même des déchets. Néanmoins, il est important de souligner, pour que l'opération de tri soit une réussite, elle devra s'effectuer en deux étapes :

- Le tri à la source par les habitants suivi de la collecte sélective,
- Un tri complémentaire au niveau d'un centre de tri.

La réussite d'une telle opération est conditionnée par :

- La présence de systèmes de traitement en aval: unité de compostage, incinérateur des déchets médicaux, filières pour les matériaux triés, etc.
- Une sensibilisation des habitants ciblant au début quelques quartiers et à généraliser pour tous les secteurs desservis par la collecte.

Trier ses déchets, permet de sélectionner les déchets selon leur nature afin qu'ils puissent être dirigés vers une filière de traitement adéquat pour être **recyclés**.

En recyclant un déchet :

- ✓ une deuxième vie est donnée au déchet.
- ✓ de nouveaux produits sont fabriqués.

Ainsi, nous allons :

- économiser les ressources naturelles.
- réduire la mise en décharge et l'incinération.

III.2. Procédés de traitement

Il existe aujourd'hui plusieurs modes de gestion des déchets utilisés en fonction de ces enjeux sanitaires, environnementaux mais aussi économiques. Toutefois, le coût d'investissement dans certaines approches technologiques respectueuses de l'environnement reste un vrai problème dans les pays en voie de développement.

Mais malgré cette contrainte, ces pays doivent désormais répondre aux exigences des populations locales mais aussi à d'autres exigences toujours plus strictes et contraignantes

auxquelles ils ont souscrit. Il s'agit notamment, des protocoles et conventions internationaux (Protocole de Kyoto, Conventions de Bale, de Stockholm, de Montréal, etc.) visant à préserver la santé et l'environnement. C'est pour le respect de ces objectifs qu'on assiste ces dernières années à de multiples tentatives et expériences de gestion des déchets, de par le monde, pour trouver des solutions optimales et adaptées au contexte donné.

Les techniques de traitement étant diverses, la littérature identifie les cinq filières suivantes comme étant les plus utilisées dans le monde en fonction de la nature du déchet. La mise en décharge, le compostage, l'incinération, la valorisation matière, autres (pyrolyse, méthanisation, ...), comme il est si bien illustré sur la figure III.1. suivante :

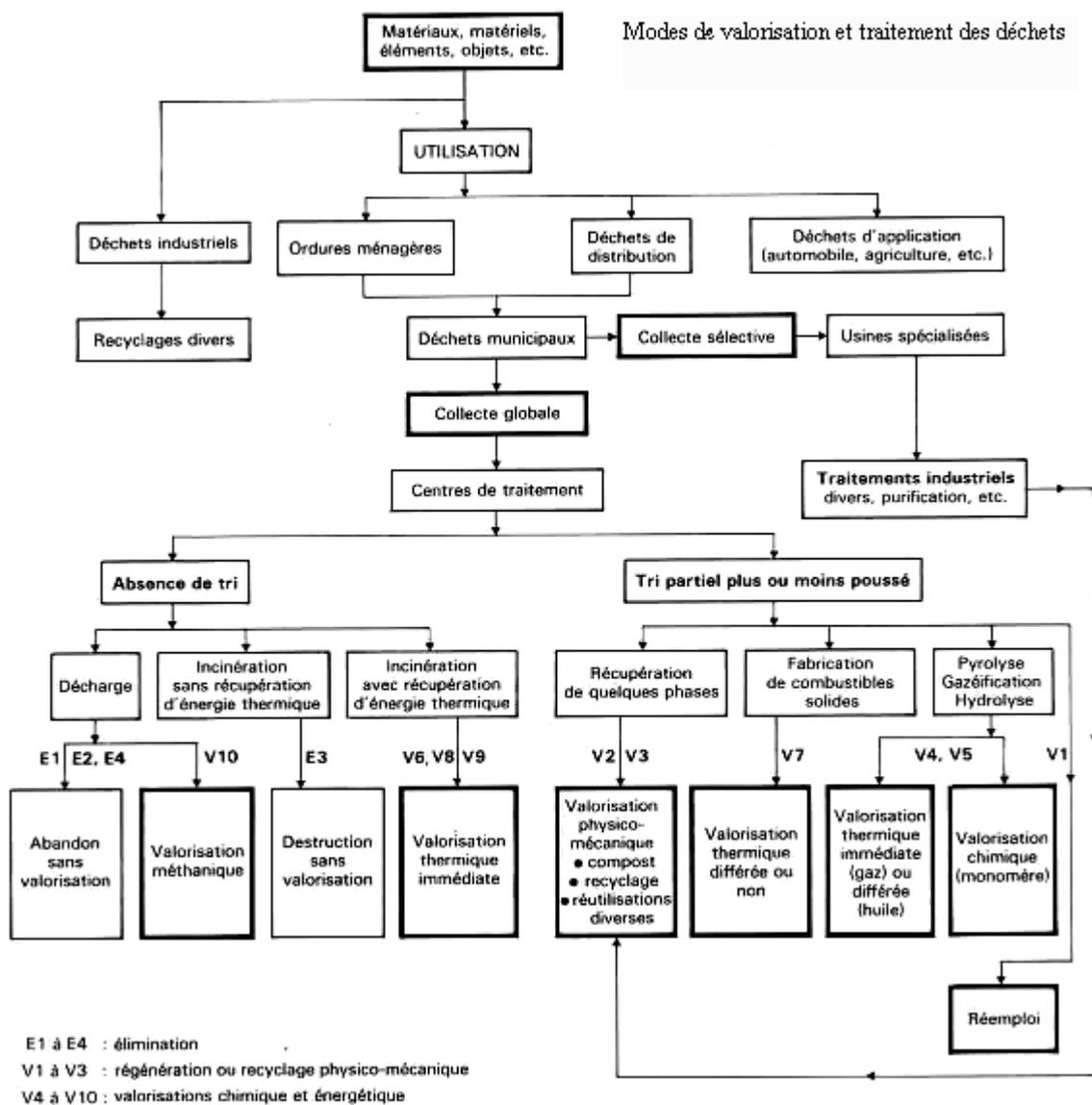


Figure III. 1. Diagramme général des modes de valorisation et d'élimination des déchets

Les déchets incinérés, transformés en carburants, en gaz, constituent à la fois une contrainte et une ressource de plus en plus prises en compte dans les politiques de développement durable. La différence principale entre les déchets du Nord et du Sud réside dans sa composition. En effet, selon plusieurs recherches dans ce sens, la composition des déchets varie d'un pays à l'autre, d'une région à l'autre et même d'un quartier à l'autre.

Les déchets sont habituellement classés en plusieurs catégories selon leurs natures, comme suit :

- Déchets Solides, d'origines ménagères ;
- Déchets liquides urbains (DLU) sont composés d'un mélange d'eaux claires (eaux de pluie), d'eaux grises (douche et lavabo) et d'eaux vannes (WC). Ces eaux usées sont en principe traitées dans des stations d'épuration (STEP) ;
- Matières usagées provenant de collectes comprennent les déchets valorisables issus des collectes sélectives (comme le verre, vieux papier, compost, textile, PET, tôle d'acier, alu) ;
- Déchets de chantier comprennent les déchets de construction et de démolition (bois, béton, tuiles, plastiques) ;
- Déchets spéciaux contiennent des substances dangereuses pour la santé humaine ou pour l'environnement (solvants, peintures, piles, tubes fluorescents, produits chimiques, appareils électriques) ;
- Déchets radioactifs sont issus de la production d'énergie nucléaire et de la médecine (radiographie).

III.2.1. L'enfouissement technique

III.2.1.1 Définition

Le recours à l'élimination ne doit être envisageable que dans le cas où aucune autre alternative ne peut être appliquée. La mise en décharge devient donc l'étape ultime et inévitable dans la chaîne de traitement et de gestion intégrée des déchets.

L'enfouissement technique consiste à disposer les déchets solides en couches ne dépassant pas deux mètres d'épaisseur ; à compacter ces couches et à recouvrir quotidiennement de terre, les surfaces exposées.

Les déchets sont étendus en mince couches dans des cellules étanches et où ils sont nivelés, compactés et recouverts périodiquement avec de la terre ou un autre produit inerte pour

limiter les infiltrations d'eau dans le déchet, et les nuisances dues aux envois de déchets et aux émanations de gaz.

Il existe trois méthodes d'enfouissement :

1- l'enfouissement en surface : il a lieu dans les ravins, les carrières abandonnées, les vallées etc. les déchets y sont répandus et compactés jusqu'à réduction de leur volume de 50 %, et sont ensuite recouvert de terre.

2- l'enfouissement sur talus : dans ce cas les déchets sont versés sur le flanc d'une élévation (colline) où ils sont étendus, compactés et recouverts de terre. Le matériel de recouvrement est obtenu en excavant le sol directement au pied de la surface du travail.

3- l'enfouissement en tranchées : où les déchets sont déversés dans une tranchée et la terre d'excavation est utilisée pour les recouvrir.

L'enfouissement technique ou la décharge contrôlée, permet d'éviter les risques pour l'hygiène publique, de réduire les nuisances au minimum et de revaloriser certains terrains. Le choix du site de décharge dépend des propriétés géologiques du terrain, des possibilités d'aménagement et des voies d'accès.

III.2.1.2. Les centres d'enfouissement technique (CET)

Les centres d'enfouissement technique sont des décharges contrôlées. Ils sont classifiés selon trois niveaux en fonction des déchets qu'ils reçoivent.

Les caractéristiques des trois classes sont représentées dans le tableau.III.1.

- **CET de classe I** : Décharge contrôlée, site imperméable, réservé aux déchets dits industriels, spéciaux ou toxiques, conformément aux prescriptions réglementations, ces déchets qualifiés de dangereux sont solidifiés avant d'être stockés dans des alvéoles étanches. Les CET de classe I, assurent un confinement des déchets par une barrière géologique d'au moins 5m dont le coefficient de perméabilité (k) est inférieur à 10^{-9} m/s et d'une géomembrane sur le fond et les flancs de l'installation, les percolas sont drainés. Un écran imperméable (géomembrane et barrière géologique) recouvre le site à la fin de l'exploitation. , déclarée en installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE).

- **CET de classe II** : Décharge contrôlée, site semi-imperméable, reçoit des déchets industriels banaux (DIB) et déchets municipaux (DM), arrêté préfectoral d'autorisation, déclarée en installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) (Tableau III.1). Une triple barrière d'étanchéité assure également la protection du sous sol. Les CET de classe

II, sont subdivisés en casiers (volumes délimités), la perméabilité du sol (k) doit être inférieure à 10^{-9} m/s sur au moins 3 mètres d'épaisseur. Exemple de CET de Tipaza (Sidi Rached).



Figure III.2. Centre d'Enfouissement Technique de Tipaza (CET II)

- CET de classe III

Décharge normalement contrôlée, site perméable, déchets inertes (gravats non souillés), arrêté municipal. (Tableau III.1)

Tableau III. 1. Caractéristiques des classes des CET.

Catégorie du site	K (m.s ⁻¹)	Caractéristiques du site	Déchets industriels Admissibles
Classe 1 (site imperméable)	$K \leq 10^9$	1. Fond imperméable, 2. Aptitude à un façonnage garantissant, les écoulements vers un point bas, 3. Aptitude à l'implantation d'un ouvrage, de contournement évitant l'entrée des eaux superficielles, 4. Aptitude à une couverture en pente, favorisant le ruissellement.	Certains déchets spéciaux
Classe 2 (site semi-perméable)	$10^{-6} \leq K \leq 10^9$	1. Capacité du site à assurer une épuration des lixiviats, 2. Infiltrations modérées du bilan hydrique, les écoulements vers un point bas, 3. Intérêt à garantir les eaux souterraines contre les risques de pollution.	Déchets assimilables aux ordures ménagères
Classe 3 (site perméable)	$K \geq 10^{-6}$	Migration trop rapide des lixiviats constituant un risque élevé de pollution des nappes.	Déchets inertes

III.2.2. Valorisation des déchets

La valorisation reste un concept ambigu qui se définit surtout par opposition à l'élimination.

Un déchet est "valorisé" lorsqu'il trouve un usage comme matière ou source d'énergie. Il y aurait donc deux types de valorisation ; la valorisation de la matière et la valorisation énergétique. Comme il est si bien montré sur la figure suivante (Figure III.3):

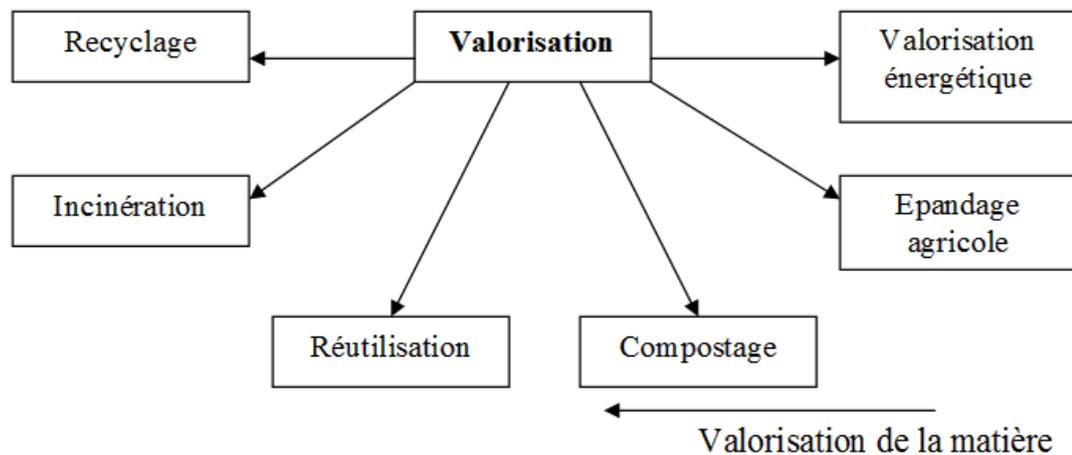


Figure III. 3. Différentes formes de Valorisation des déchets

La «valorisation », apparue pour la première fois dans les textes en 1989, est définie par la loi française du 13 juillet 1992 comme le réemploi, le recyclage ou toute autre action visant à obtenir, à partir de déchets, des matériaux réutilisables ou de l'énergie. La même définition est citée dans **l'article 3 de Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relatif à la gestion et valorisation des déchets en Algérie paru dans le J.OA. N°77.**

Dans le cadre de la rencontre sur l'environnement à Oran, Madame Louiza Ammi a écrit un article intitulé « l'algérie ne valorise que 7% des 14 millions de tonnes générés annuellement. » en couvrant l'évènement (liberté du jeudi 30 novembre 2017) : le Forum sur l'économie et l'industrie des déchets en Algérie (Feida) les 20 et 21 mars 2016 à Oran, à l'université des sciences et de la technologie d'Oran Mohamed-Boudiaf.

“Nous ne devons plus réfléchir à éliminer nos déchets mais penser à les valoriser, à les recycler et les réutiliser”, a indiqué Malek Zitouni, organisateur du forum, en soulignant que l'Algérie ne valorise que 7% des 14 millions de tonnes générés annuellement. “C'est pour cela que nous soulignons la nécessité de créer des petites entreprises versées dans les différents aspects de valorisation des déchets : tri, collecte, traitement, transformation... c'est un gisement très important qui doit être exploité”, dira encore m. Zitouni.

III.2.2.1. La valorisation énergétique : Incinération

Cette technique consiste à utiliser une source d'énergie résultant de l'incinération ou de la thermolyse, ces modes de traitement des déchets sont tout à fait applicables dans un système industriel appliquant les principes de l'écologie industrielle puisqu'ils permettent de récupérer l'énergie de la combustion.

Cela revient à utiliser le potentiel énergétique des déchets solides ou les calories contenues dans ces déchets, en les brûlant et en récupérant l'énergie ainsi produite pour, par exemple, chauffer des immeubles ou produire de l'électricité. L'incinération est un mode de traitement thermique de déchets solides qui n'a qu'un seul but, éliminer les déchets ou réduire leur volume avant de les envoyer en décharge. Ce procédé doit rester un traitement de dernier recours, avant d'incinérer un déchet, il faut d'abord examiner toutes les possibilités de réemploi, de recyclage ou de valorisation et vérifie bien qu'il n'y a pas d'autres solutions pour utiliser ces déchets.

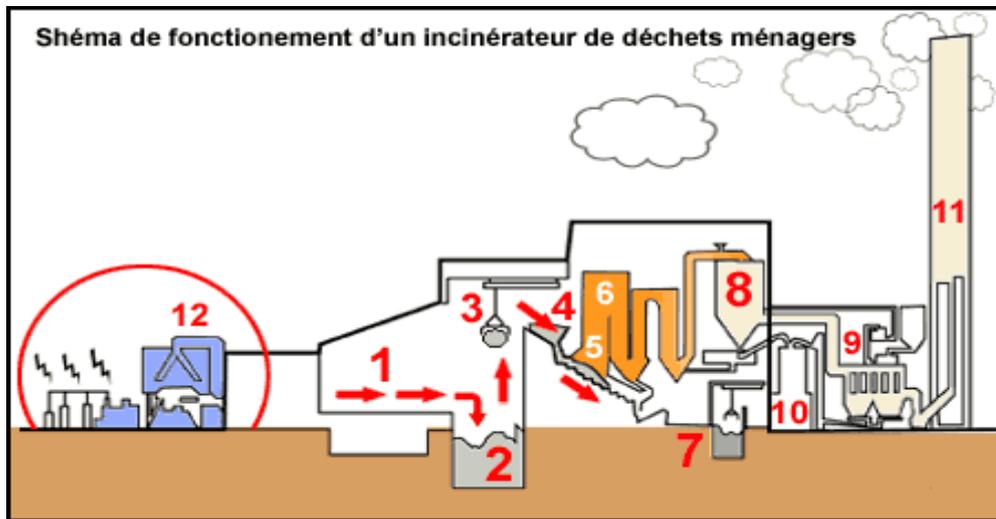
On peut remarquer que l'incinération des déchets solides est très différente qu'un simple brulage dans un vieux baril de pétrole ou dans une fosse. L'incinération est une technique de combustion des déchets solides et elle constitue un moyen efficace d'élimination ou de réduire de 75 % le poids et de 90 % le volume des déchets organiques, des hydrocarbures, les déchets hospitaliers...

Cette technologie a vu le jour en 1865 en Grande-Bretagne avec le *British Destructor*, puis a été exportée aux États-Unis et en Europe (Bertolini, 2005). La commission européenne (CE) dans une communication de 1996 relative à la stratégie des déchets a renforcé la notion d'hierarchie d'actions liées aux déchets, d'où l'incinération qui est placée tout en aval juste avant la mise en décharge.

Du point de vue technique, la conception des usines d'incinération est relativement variée et leur choix reposera essentiellement sur les caractéristiques des déchets qui y sont incinérés.

Une usine de valorisation énergétique consiste à brûler les déchets dans un incinérateur connu à cet effet avec un four spécialement adapté à une température élevée. En particulier, le type de four utilisé et sa taille, sont dimensionnés en fonction de la proportion des produits solides, de leur pouvoir calorifique et de la capacité souhaitée. Différents types de fours ont été utilisés, fours rotatifs, four à grille, fours oscillants et fours à lit fluidisé. Toutes ces techniques visaient, avec un certain succès d'ailleurs, à obtenir des mâchefers à

faible taux d'imbrulés. La figure III.4. représente le principe de fonctionnement d'un incinérateur de déchets ménagers.



- 1 - Arrivée des déchets, 2 - Fosse à déchets, 3 - Grues de chargement, 4 - Trémie d'alimentation
 5 - Grille d'incinération, 6 - Chaudière, 7 - Mâchefers, 8 - Traitements des effluents gazeux
 9 - Filtres à manches, 10 - Cendres volantes, 11 - Cheminée, 12 - Turbines à vapeur

Figure III. 4. Principe d'incinération

En Algérie, l'incinération est appliquée uniquement pour les déchets hospitaliers au sein des hôpitaux. Pour les déchets ménagers (DM), ce mode de traitement n'est pas adopté même si cette solution semble plus écologique que l'enfouissement. Elle présente au moins trois inconvénients liés : (1) au taux d'humidité qui est très élevé (2) au coût de traitement plus élevé suite aux frais d'équipement et d'exploitation, et (3) à la prédominance de déchets organiques dans les DM.

La direction des déchets urbains du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'environnement (MATE) indique dans une communication de presse que la solution d'incinérer les déchets solides urbains est onéreuse en raison des aspects technique et économique. Les raisons techniques sont liées à la composition des déchets issus des ménages qui contient plus de 70% de matières organiques avec un taux d'humidité trop élevé et un pouvoir calorifique très bas.

Quant aux raisons économiques, elles sont fondées sur les surcoûts dus à la consommation d'énergie (gaz), le traitement des fumées auxquels s'ajoute le coût de l'équipement. Si nous retenons un incinérateur de 2 000 tonnes/jour qui coûte entre 150 à 200 millions d'€, le coût du traitement d'une tonne revient à 5 000 DA contre 4 000 DA pour l'enfouissement. En outre, l'incinération avec récupération d'énergie n'est pas avantageuse du

fait que le coût du kWh produit par la Sonelgaz35 est moins cher que celui produit par incinération.

III.2.2.2 Valorisation de la matière

La valorisation matière est la transformation d'une matière considérée comme un déchet en une autre catégorie de matière. On distingue différentes formes de valorisation des matières, elles sont développées aujourd'hui avec le développement des modes de consommation des sociétés et la croissance des quantités de déchets générés par les populations. Ces formes sont le réemploi comme la réutilisation des bouteilles en verre, des emballages, etc. ; le recyclage qui permet d'obtenir de nouveaux produits en intégrant ces matières dans un nouveau cycle de production. Cette forme de valorisation sera développée dans le prochain chapitre.

La valorisation matière se pratique aussi pour les déchets organiques, sous forme de compostage et biométhanisation.

a. Compostage

Le compostage est un moyen naturel de recycler et un procédé biologique contrôlé de conversion. Cela consiste à décomposer les matières putrescibles sous l'action des microorganismes aérobies (en présence de l'oxygène) dans le but d'obtenir un matériel organique riche en humus appelé *compost* comme il est illustré sur la figure III.5.



Figure III.5. Principe du compostage

Les objectifs du compostage sont essentiellement ; le traitement par, dégradation des matières fermentescibles qui homogénéisent les différentes matières premières, stabilise la matière organique; et la production d'un amendement ou engrais organique ou d'un support de culture, répondant à la réglementation et aux besoins des utilisateurs.

Ce mode de valorisation des déchets vise les déchets verts, les déchets des marchés de fruits et légumes, les déchets de l'industrie agroalimentaire et les déchets organiques des ménages. Le compostage permet :

- de réduire la quantité à enfouir en décharge de 55%,
- de prolonger la durée de vie de la décharge,
- de réduire la matière organique enfouie au CET (moins de lixiviats),
- de valoriser la matière organique sous forme de compost pour l'agriculture.

Le compostage ne représente que 1% de l'ensemble des déchets produits en Algérie. Les seules expériences sont celles des wilayas de Blida, Alger, Tlemcen et Tizi-Ouzou. Le coût des déchets traités est estimé à 2 700 DA/tonne, et le coût à la tonne de compost produit est de 5 400 DA/tonne.

Exemple de la station de compostage de la ville de Blida

Cette station a été mise en service depuis 1989, puis réhabilitée durant la période allant de 1992 à 1996 et remise en service en 1996. Elle s'étale sur une superficie de 3.7 ha pour une capacité nominale de 100 tonnes par poste de travail de 8 heures et cela pour une production de 40 tonnes de compost par poste. Elle est réservée aux DMA de cinq communes³³ de la wilaya de Blida soit 300 000 habitants. La technique utilisée dans cette installation est du type de la fermentation en andains après prétraitement mécanique. Donc elle assure une élimination des déchets grâce à un traitement biologique. Le financement de la station est basé sur une redevance payée par les communes à la ville de Blida qui héberge la station d'une part, et d'autre part sur la recette des ventes du compost (environ 300 DA/tonne). Actuellement, la station de compostage de Blida produit deux types de produits : du « compost grossier » et du compost fin. Cependant, l'unité ne peut plus faire face aux quantités de déchets transférées vers la station estimées à 250 tonnes/jour. Le coût de l'exploitation d'une tonne de déchets se situe entre 2500 DA et 2700 DA selon le type de compost à produire. Ce coût est légèrement supérieur au coût de la mise en décharge qui est estimé à 1500 DA/tonne. La qualité finale du compost doit répondre à certaines exigences de qualité normalisées dans les pays industrialisés distinguant ainsi plusieurs catégories en fonction de sa maturité, sa stabilité, sa teneur en métaux lourds, en inertes, etc.

b. Méthanisation

La digestion anaérobie des déchets est un processus biologique vieux comme le monde. Elle est similaire à celui du compostage. Elle consiste à fermenter les fractions organiques des déchets ménagers et industriels de classe 2 (boues d'épuration, lisiers et

fumiers, effluents industriels, déchets municipaux organiques, les déchets de l'agroalimentaire, de cuisine, et d'une façon générale tout produit digestible) dans des conditions anaérobiques (absence d'air) en un biogaz par l'action de bactéries. Ce gaz est également un gaz riche en méthane qui peut être valorisé comme source d'énergie directe.

L'ensemble peut être résumé par l'équation suivante et illustré sur la figure III.6

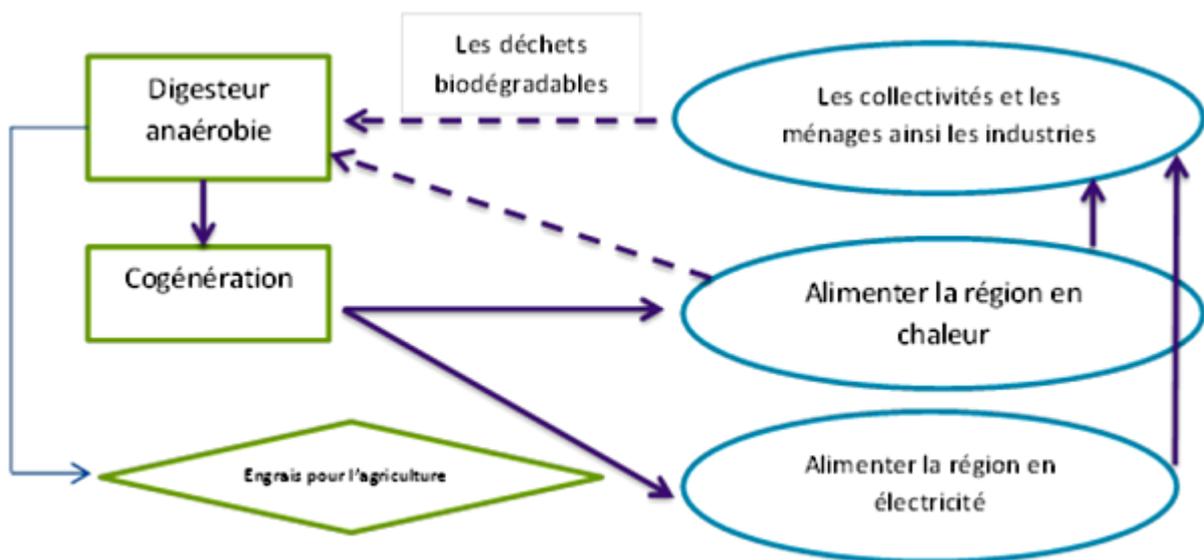


Figure III.6. Schéma représentant la fabrication du biogaz par méthanisation

Cette énergie dégagée est plus faible que dans le cas d'une dégradation aérobie (le compostage).

Le biogaz peut être caractérisé selon sa composition et sa valeur énergétique. Le biogaz final est plus riche en méthane (65 à 70 %) lorsque le produit est riche en azote (lisiers de porc, fientes de volailles), il ne contient par contre que 55 à 60 % de méthane lorsqu'il est issu de la fermentation du fumier de vache pailleux plus pauvre en azote. De même, en fonction de la qualité du substrat (le type de déchets), le biogaz peut contenir plus ou moins d'hydrogène sulfure (H₂S). Les fientes de volailles en contiennent le plus (1%) suivi des lisiers de porc (0,7%) et des fumiers de bovin (0,3%).

En dehors des principaux gaz que contiennent les déchets (Tableau III.2), le biogaz contient de la poussière et beaucoup d'autres gaz dont le sulfure d'hydrogène (H₂S) responsable de la forte odeur des déchets.

Tableau III.2. Composition moyenne du biogaz par type de substrat

Gaz	Déchets végétaux (ordures ménagères)	Déchets animaux (déjections animales)
Méthane (CH ₄)	50 - 60 %	50 - 90 %
Gaz carbonique (CO ₂)	40 - 60%	10 - 40%
Monoxyde de carbone (CO)	-	0 - 0,1%
Dihydrogène (H ₂)	< 0,5 %	1 - 3 %
Diazote (N ₂)	-	0,5 - 2%
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	200 à 2 500 ppmv	0,1 - 0,5%

Chapitre V. Recyclage des déchets

IV.1.INTRODUCTION

La préservation de l'environnement et ses nombreux enjeux socio-économiques occupent une grande place dans les défis de ce siècle. L'incessante croissance de la production entraîne une baisse des niveaux des réserves naturelles de matières premières et génère une grande quantité de déchets. En plus du problème environnemental, la gestion de ces déchets pose une question plus globale ayant trait au comportement et au mode de vie de la société et sa réponse passe en particulier par l'éducation des jeunes enfants afin de faire naître un comportement citoyen responsable face à l'accumulation des déchets et à leur devenir. Concrètement, pour répondre au problème posé par la diversité et la quantité des déchets, leur valorisation par une réintroduction dans le circuit normal de production, autrement dit leur *recyclage*, est une solution qui a été adoptée autant par les pays développés que par ceux en voie de développement

Le recyclage présente aussi un autre avantage, et non des moindres : il permet d'économiser les ressources naturelles (matière première et énergie) dans lesquelles on puise pour fabriquer les matériaux neufs, et dont on prend conscience de la raréfaction. Ainsi, en appliquant ce principe, plusieurs objectifs fondamentaux sont atteints : la préservation des ressources naturelles, la protection de l'environnement,

L'habitude est de désigner par «recyclage » toute opération visant à réintroduire des déchets dans un circuit de transformation. Toutefois, la grande diversité des situations de recyclage fait qu'un vocabulaire adapté a vu le jour.

Le « Recyclage », selon l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), est *la réintroduction directe d'un déchet dans le cycle de production dont il est issu, en remplacement total ou partiel d'une matière neuve.*

Sur un plan technologique, on distingue deux situations de recyclage :

- Dans la première, on réintroduit le déchet dans la chaîne de transformation pour donner un produit identique, c'est le recyclage en «boucle fermée »;
- Dans la seconde, la transformation conduit à la fabrication de produits différents, on parle alors de recyclage en «boucle ouverte.

Dans les pays les plus avancés dans le domaine, les principes de recyclage et de valorisation deviennent une préoccupation majeure, à tel point que dès la conception d'un produit, sont intégrées les perspectives de son traitement lorsqu'il arrivera en fin de vie, c'est le principe de « l'éco-conception ».

IV.2. L'histoire du recyclage

Le recyclage est vieux comme le genre humain lui-même. On peut trouver l'origine du traitement des déchets dans le compostage.

Autrefois, on a donné aussi les déchets ménagers comme le repas restant ou l'eau de la vaisselle aux animaux domestiques. On n'a pas utilisé de produits chimiques et quasi tout était fait de matériaux naturels.

Le recyclage aujourd'hui

Face à l'augmentation des déchets ménagers, les techniques de traitement des déchets ont dû évoluer. Le développement des technologies et des filières de retraitement, poussés par l'évolution de la réglementation et la prise de conscience écologique, ont augmenté les taux de recyclage tout en diminuant les volumes incinérés et stockés. Aujourd'hui quand on parle de recyclage on s'imagine d'abord les conteneurs séparés de différentes couleurs. Le système suivant est connu dans la plupart des pays développés. La couleur verte correspond aux bouteilles et bocaux de verre, la couleur bleue aux journaux, annuaires et papier en général. La couleur jaune représente le plastique sous ses différentes formes ; les emballages plastiques vides des boissons etc.

IV.3. Procédés du recyclage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer. Le recyclage dit « organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz (voir la figure ci-dessous).

IV.4. La chaîne de recyclage

Celle-ci passe essentiellement par trois étapes :

a. Collecte de déchets

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets.

La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant :

celui qui crée le déchet le trie lui-même. À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les séparer de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations.

b. Transformation

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

c. Commercialisation et consommation

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs

En exemple sur la figure IV.1, voyons comment se recycle le papier :

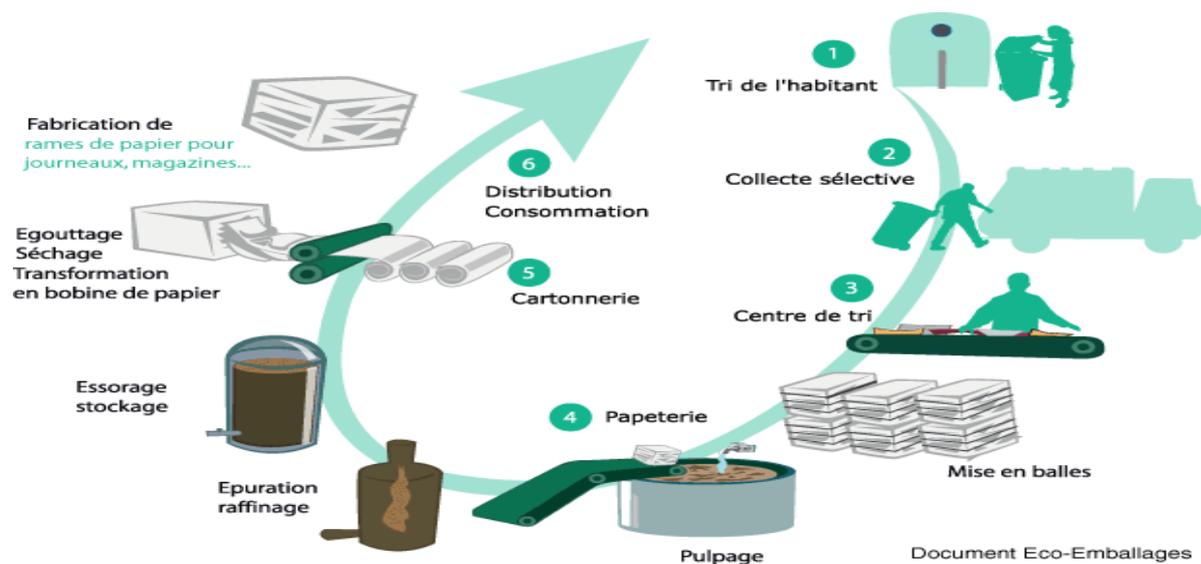


Figure IV. 1. Exemple d'une chaîne de recyclage : cas recyclage de papier

IV.5. Déchets recyclés

IV.5.1. Déchets usuels inertes

Les déchets usuels inertes sont produits par les ménages et les industries. Ils forment la part la plus large des déchets recyclables (Tableau IV.1). Ils sont souvent simples à collecter et à transformer. Ils sont peu dangereux. En revanche, ils représentent des volumes importants à transporter et à stocker.

Tableau IV.1. Procédés e recyclages des déchets inertes

Produit	Procédé
<u>Acier</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération de métaux. Fabrication des pièces de moteur, des outils, des boîtes de conserve, etc.
<u>Aluminium</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération de métaux. Fabrication des canettes, du papier d'emballage, des constituants d'automobile (culasses, jantes, boîtes de vitesses, etc.
<u>Caoutchouc</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Les pneus hors d'usage sont utilisés pour produire des bacs à fleurs, des tréteaux, des panneaux d'insonorisation, des tuiles de revêtement de sol, de l'asphalte caoutchoutée, etc.
<u>Carton</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Fabrication d'autres types de papier et de carton.
<u>Gravats</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Broyés sous forme de granulats employés à nouveau dans le secteur de bâtiment ou le secteur industriel.
<u>Papier</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Fabrication d'autres types de papier et de carton.
<u>Plastique</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Fabrication des sacs, des récipients et des couvercles pour produits non alimentaires, des meubles de jardin, des vêtements, des jouets, du mobilier urbain, des clôtures, des tuyaux, des pièces d'automobile (pare-chocs, batteries, etc.), des bases de panneaux de signalisation routière, des cônes de voirie, etc.
<u>Textile</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Fabrication de textile et de pâte à papier.
<u>Verre</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération.

	Refonte des articles en verre pour en faire des neufs
<u>Brique alimentaire</u>	Repris en l'état par des sociétés de récupération. Les briques broyées, lavées, essorées et séchées, sont transformées en bidon, rembourrage d'oreiller, bouteille, tuyau, rouleau de fibre non tissée, etc.
<u>Équipement électrique et électronique</u>	Les appareils sont récupérés, démantelés, déchetés et broyés, au moyen d'une chaîne. Les fragments valorisables sont récupérés sous forme de métaux ferreux, non ferreux, câbles, plastiques, etc.

IV.5.2. Déchets usuels non inertes

Les plus connus de ces déchets sont les huiles et les peintures. L'incinération avec valorisation énergétique est un des procédés employés pour les recycler. Elle permet la production d'énergie et la destruction des déchets peu combustibles (Tableau IV.2).

Tableau IV.2. Procédés de recyclage des déchets usuels non inertes.

Produit	Procédé
<u>Déchet liquide à composante minérale.</u> Tels que déchets de revêtement de surface, boues résultantes du travail des métaux, dépollution d'eau.	Traitement physico-chimique minéral : Neutralisation des acides et des bases, transformation des produits toxiques solubles en composés insolubles précipités au sein de la solution, séparation des solides et des liquides par décantation ou par filtre.
<u>Déchets liquides polyphasiques.</u> Tels que résidus de lavage et de dégraissage des cuves et des sols.	Traitement physico-chimique organique en deux étapes : séparation par décantation et séchage par incinération.
<u>Déchet organique.</u> Tels que huile,	Incinération avec valorisation énergétique : production d'énergie et destruction des déchets peu combustibles.

peinture, vernis, etc.	Avant rejet à l'atmosphère, les gaz restants sont traités au charbon actif par adsorption, et neutralisés
<u>Déchet synthétique.</u> Huile synthétique, produits de nettoyage des automobiles, etc.	Incinération avec valorisation énergétique : production d'énergie et destruction des déchets peu combustibles.

IV.5.3. Déchets industriels dangereux

L'industrie produit une grande quantité de déchets dangereux. Ce sont pour la plupart des produits comprenant des substances chimiques toxiques ou instables. Les déchets toxiques sont dangereux pour la santé et pour l'environnement. La manipulation de déchets instables

entraîne des risques d'accidents graves. Le tableau VI.3 présente les différents procédés de traitement de ce type de déchets.

Tableau IV.3. Procédés e recyclage des déchets industriels dangereux

Produit	Procédé
<u>Boue de déchets industriels</u>	Chauffage des déchets dans le but d'en réduire la masse et de valoriser les sous-produits. Il s'agit de techniques de séchage ou de séchage par incinération en utilisant différentes technologies. La vapeur issue du séchage peut être recyclée comme source de chaleur dans le procédé à partir d'une chaudière. En fonction des résidus obtenus par séchage, ceux-ci peuvent être stockés pour une utilisation ultérieure.
<u>Déchet liquide biodégradable</u> Tels que les eaux issues d'un traitement physicochimique, eaux de pollution accidentelle, etc.	Traitement biologique qui consiste à transformer la matière organique en une boue par des moyens physiques. Les micro-organismes dégradent et assimilent certaines substances organiques par sécrétion d'enzymes. La boue biologique est extraite de l'eau par décantation ou flottation. Pour accélérer le processus de dépollution dans les procédés aérobiques, on utilise un apport d'oxygène (de l'air ambiant, ou pur) dans les bassins.
<u>Hydrocarbure liquide.</u>	Séparation de l'eau, des hydrocarbures et des sédiments par des procédés physiques (décantation, débouage, centrifugation,

Les hydrocarbures liquides sont en particulier des résidus de nettoyage de fond de bac ou des concentras huileux provenant d'opérations physico-chimiques (filtration, décantation).	filtration). Valorisation thermique des hydrocarbures récupérés.
<u>Hydrocarbure solide</u> Concerne les hydrocarbures pâteux et ou solides tels que les déchets d'hydrocarbures issus de raffinerie et de dépôts pétroliers ; ou tels que les déchets pétroliers d'activités portuaires : boues de station de déballastage, boues de curage de bassins, déchets de marée noire, etc.	Les déchets d'hydrocarbures sont mélangés à des réactifs neutralisants. Ce processus lent produit une séparation des hydrocarbures sous forme simple (CO ₂ , H ₂ O). Combinée avec des réactifs, cette matière sous forme physique homogène devient stable, hydrophobe, oléophile et commode à entreposer. La matière finale servira comme terre de recouvrement, absorbant oléophiles, ou incorporée aux enrobés routiers. Les fûts, conteneurs, emballages légers qui ne sont pas réutilisés en l'état après nettoyage sont compactés et transportés aux aciéries).
<u>Métal</u> Concerne les métaux tels que fûts, conteneurs, emballages légers, mâchefers, sels	Les mâchefers, dépollués et ôtés de tout élément métallique sont réutilisés par l'industrie métallurgique. Les sels d'argent sont stockés et transférés dans un réacteur agité, pour précipiter le sulfure d'argent. Après séparation on obtient une boue qui sera calcinée pour la récupération de lingots d'argent.

d'argent de bains photographiques, etc.	
PCB Les PCB ou polychlorobiphényles sont des dérivés chimiques chlorés plus connus sous le nom de pyralènes, Les PCT (polychloroterphényle) sont des produits approchants	Incinérés et détruits à très haute température dans des unités spécifiques. Dans certaines unités, le chlore contenu dans le PCB est recyclé par incinération, sous forme d'acide chlorhydrique. Chaque appareil ou équipement est vidé de son contenu liquide, démonté, et traité suivant la nature des parties actives, noyaux, bobines, cuve, etc. Après décontamination, le cuivre et le papier sont séparés et réemployés.
Solvant Cétones, hydrocarbures aliphatiques, méthylbenzène, esters, glycols et solvants chlorés (trichloroéthane) issus d'activités industrielles légères (ateliers de réparation automobile) ou lourdes (métallurgie, construction automobile).	La régénération de solvants utilise la distillation simple, puis par distillation fractionnée sur colonne, pour séparer les différents constituants des solvants usés. Après distillation, les solvants sont «séchés». L'eau résiduelle est extraite par fixation sur un support ne réagissant pas chimiquement avec le solvant. valorisation thermique des hydrocarbures récupérés

IV.6. Impact du recyclage dans l'industrie

➤ Source d'approvisionnement alternative

Le recyclage des déchets offre une source d'approvisionnement en matières premières alternatives aux autres sources. Par exemple, le recyclage de fil de cuivre permet d'obtenir du cuivre auprès des entreprises de recyclage et non des entreprises d'extraction. Le recyclage

offre aux entreprises les bénéfices de la multiplicité des sources d'approvisionnements telles que la facilité de négociation des prix d'achat ou la sécurité des approvisionnements.

➤ **Création d'activités**

Le recyclage est une activité économique à part entière. Elle est le moyen de création de richesses pour les entreprises de ce secteur. En théorie, presque tous les matériaux sont recyclables. En pratique, l'absence de filière rentable fait qu'ils ne sont pas tous recyclés. Ainsi, le recyclage est plus coûteux pour des appareils électroniques comme les ordinateurs, car il faut séparer les nombreux composants avant de les recycler dans d'autres filières.

➤ **Coût de main-d'oeuvre**

Le recyclage suppose de trier les déchets en fonction du mode de recyclage auquel chacun d'eux sera soumis. Ceci exige une main-d'oeuvre abondante, même lorsqu'un tri sélectif est effectué en amont par la population. En effet, il arrive qu'un second tri soit nécessaire dans un centre d'affinage pour éliminer les erreurs de tri et les impuretés qui pourraient compromettre le recyclage (c'est le cas du plastique et du verre) car, le tri sélectif lui-même exige la mise à disposition des ménages de bacs spéciaux et la collecte sélective emploie plus de personnes qu'une collecte simple.

IV.7. Impact du recyclage sur l'environnement

IV.7.1. Protection des richesses naturelles

Les bénéfices économiques et environnementaux du recyclage sont considérables: il permet de protéger les ressources, de réduire les déchets, de créer des emplois, de protéger la nature et d'économiser les matières premières.

Par exemple : le recyclage permet de réduire l'extraction de matières premières :

- l'acier recyclé permet d'économiser du minerai de fer ;
- chaque tonne de plastique recyclé permet d'économiser 700 kg de pétrole brut ;
- le recyclage de 1 kg d'aluminium peut économiser environ 8 kg de bauxite, 4 kg de produits chimiques et 14 kWh d'électricité ;
- l'aluminium est recyclable à 100% ; 1 kg d'aluminium donne 1 kg d'aluminium (après avoir été fondu) ;
- chaque tonne de carton recyclé fait économiser 2,5 tonnes de bois ;
- chaque feuille de papier recyclé fait économiser 1 L d'eau et 2,5 W d'électricité en plus de 15 g de bois.

IV.8.Le recyclage en Algérie actuellement

Dans un entretien qu'il a accordé à Liberté le 30-01-2016 , en marge d'une conférence animée, jeudi, à l'université El-Maâbouda de Sétif, sous le thème "De l'idée à l'entreprise : cycle de vie d'un projet", le docteur Farouk Tedjar, chercheur et expert en recyclage et valorisation des déchets spéciaux, a affirmé que l'Algérie a un avenir énorme en matière de recyclage des déchets (urbains et industriels) par apport aux autres pays africains. "L'Algérie a toutes les potentialités nécessaires pour se positionner dans ce créneau d'avenir car elle dispose d'un très fort tissu industriel qui lui permet la production des biens de consommation et des déchets industriels", a-t-il déclaré. Et de poursuivre : "Elle a également des compétences humaines pour la recherche et le développement au niveau des universités, notamment à l'École polytechnique de Boumerdès et à l'université de Sétif."

L'expert européen à la direction générale de la recherche et de l'environnement a ajouté que le secteur de l'environnement est considéré actuellement comme un secteur créateur de richesse et d'emplois. "Ce secteur peut permettre d'accéder aux ressources stratégiques pour alimenter l'industrie nationale par des métaux de recyclage qui auraient pu être importés le devise forte", explique notre interlocuteur. Au volet environnemental, l'expert a indiqué que l'opération de recyclage des déchets va permettre la protection de l'environnement en évitant la pollution des nappes phréatiques par des métaux lourds et l'élimination de la pollution au niveau des déchets et la récupération des ressources stratégiques.

"Les piles et batteries qu'on trouve dans nos appareils électriques et électroniques représentent une nuisance non négligeable pour l'environnement car elles contiennent des métaux lourds, à savoir le cadmium, le cuivre, le lithium, le mercure, le nickel, le plomb, le zinc, etc. Ces derniers sont recyclables." Donnant un exemple sur la région de Sétif, le Dr Tedjar dira que les perspectives d'avenir dans la région sont extraordinaires, parce que cette dernière dispose d'un tissu industriel qui regroupe de nombreuses activités, à l'instar des batteries, du traitement des surfaces, de la fabrication de boulons et des creux, de la plasturgie et tout ce qui est polymère.

"Le deuxième élément pour répondre au défis de l'environnement existe aussi, car l'université de Sétif recèle des compétences dans la recherche scientifique et dans la formation pour répondre à la demande. Ces atouts permettront la création d'un éco-pôle (environnement) créateur d'emplois et de richesse", dira-t-il. Toutefois, il fera remarquer que l'Algérie connaît un retard en matière de réglementation dans ce domaine. "Je pense qu'il

manque un élément relativement rattrapable, c'est le volet réglementaire sur la collecte des déchets", a-t-il souligné, tout en insistant sur la nécessité d'une réglementation pour que les recycleurs puissent investir davantage et sans crainte dans ce domaine. L'Algérie doit suivre les expériences réussies dans le domaine du recyclage des déchets à travers le monde car elle a une chance inouïe qu'il faut saisir, notamment en ce moment, conclut notre interlocuteur

Publié Il y a 2 années, le 15 janvier 2016 Par Nazim Baya (EL MANCHAR) un article intitulé « L'Algérie classée 3e mondial dans le recyclage des déchets grâce aux remaniements ministériels » a fait objet des efforts fournis par notre pays dans le domaine de la valorisation des déchets. En effet, L'Algérie a réussi à se hisser dans le trio de tête qui compte également la Suisse et la Lettonie. Une équipe de chercheurs prestigieux de l'université de Yale et de Columbia publient tous les deux ans un rapport qui permet de comparer 132 pays du monde selon l'IPE – l'Indice de Performance Environnementale. Cet indice se base sur différents critères parmi lesquelles on compte le recyclage des déchets. Et surprise, l'Algérie occupe une place très honorable dans le classement. le rapport salue les efforts de l'Algérie et reconnaît son attachement à la protection de la nature. Tout fois, Mme. Zerouati a expliqué lors d'une audience devant la Commission des Finances et du budget au niveau de l'Assemblée nationale populaire (APN), dans le cadre de l'examen de la loi des finances 2018, que le "volume des déchets ménagers produits en Algérie est estimé de 13 millions tonnes/an soit une valeur marchande de 100 milliards de dinars (1 milliard de dollars)" ajoutant que "le taux exploité en réalité ne dépasse pas 5% de cette valeur". La ministre a indiqué que la "majorité des déchets ménagers (sous toutes ses formes) sont en dehors du processus de récupération, de valorisation et de recyclage". Mme. Zerouati, a appelé, dans ce sens, à recourir à un partenariat public-privé afin de développer l'économie de recyclage qui est une priorité nationale. Elle a souligné, dans ce sillage, l'importance d'accorder davantage d'intérêt au recyclage des déchets spéciaux (huiles usées, pneus, batteries, les déchets des équipements électroniques et électriques). "Il est nécessaire de promouvoir ce secteur en vue d'organiser à même d'encadrer et de structurer le marché de recyclage qui pourrait créer des milliers de postes d'emploi " précise Mme. Zerouati. "Nous devons procéder à l'avenir à recycler tous ce qu'on consomme pour faire du recyclage un secteur économique producteur de richesse", a-t-elle-ajouté. (APS, mercredi 1 novembre 2017)

Selon l'article de Imene A . le 31 mai 2017 du journal ALGERIE-ECO, intitulé « Recyclage des déchets : L'Algérie sollicite l'expérience italienne », La Chambre Algérienne de Commerce et d'Industrie organise, en partenariat avec l'Agence italienne Rimini Fiera, annonce le déplacement d'une délégation d'opérateurs économiques algériens en vue de participer au Salon International Ecomondo 2017 et ce, du 07 au 10 Novembre 2017 à Rimini (Italie). L'objectif étant de promouvoir l'économie circulaire dans la zone méditerranéenne axée sur la récupération des matériaux, le recyclage des déchets, l'efficacité énergétique ainsi que la rentabilité des ressources.

En Algérie, le marché de recyclage des déchets est estimé à 38 milliards de dinars. Il faut savoir aussi que les Algériens jettent chaque année 11 millions de tonnes de déchets ménagers et assimilés (DMA). Seulement 10% de cette énorme quantité sont recyclés sachant qu'une tonne de papier recyclé est l'équivalent de 1,41 tonne de bois économisée, tandis qu'une tonne de plastique recyclée représente l'économie de 650 kgs de pétrole brut.

D'après M. H. Khodja pour ELWATAN (lundi, 5 Juin 2017), Une grande usine de recyclage sera implantée prochainement dans la wilaya de Béjaïa. Unique en Algérie, voire en Afrique, paraît-il, l'usine est présentée comme ce qu'il y a de plus récent en matière de technologie de recyclage.

Elle sera implantée dans la région d'Allaghène, daïra de Tazmalt, par la société Delta Environnement Consortium, sur un terrain d'une superficie de 25 000 m², concédé au promoteur du projet dans le cadre du Comité d'assistance à la localisation et la promotion des investissements et de la régulation du foncier. D'une capacité de plus de dix tonnes/heure, l'usine aura comme principal client les collectivités locales et, éventuellement, les industriels, si leurs déchets entrent dans la gamme prise en charge par l'usine. Celle-ci traitera plusieurs types de déchets : verre, plastique, caoutchouc, carton, fer, aluminium, PVC, matières organiques, etc.

A l'exception des déchets toxiques qui sont soumis à un protocole. Le promoteur du projet, *Guesmia Lyès*, n'attend que l'aval des autorités pour procéder à la mise sur rails des travaux d'installation de l'usine, qui prendront six mois tout au plus, a-t-il dit. A la pointe de la technologie du recyclage, l'usine Delta ne présente, selon notre interlocuteur, que des avantages. Les déchets traités seront prêts à être réintroduits dans un cycle, en sortie de chaîne. Grâce à un système sophistiqué combinant pression et vapeur, les déchets sont soumis à une forte température (175°) qui sépare les composantes de l'élément introduit dans les box de recyclage.

Le choix du recyclage et non pas d'autres procédés de traitement de déchets, à l'instar de l'enfouissement technique, le compostage ou l'incinération, est dicté par une étude de deux années qui a tranché sur l'orientation du modèle algérien de traitement de la pollution et des déchets, informe le promoteur du projet. «Le recyclage est le système qui convient le mieux en Algérie en raison de la typologie des déchets qui est, dans sa majorité, organique», explique notre interlocuteur.

En matière d'emploi, Delta va embaucher 100 personnes à l'ouverture et, par la suite, des entreprises complémentaires créées dans le cadre de l'Ansej et dont l'activité va se greffer à celle de l'usine mère, généreront à leur tour des centaines d'emplois, a annoncé *M. Guesmia*. De plus, dit-il, l'usine sera une école ouverte, notamment pour les étudiants en filière environnement qui, jusqu'à présent, ne trouvent pas beaucoup de débouchés à leur formation.

IV.9.Comment Choisir un matériau ?

Depuis la nuit des temps, l'homme a dû choisir, entre plusieurs matériaux, celui qui était le plus adapté à l'objet qu'il voulait fabriquer. Dans la préhistoire, le choix était limité au bois et à la pierre. En fait, il portait aussi sur la forme et les dimensions de ces matériaux offerts par la nature. Pour réaliser un manche de hache, l'homme choisissait une branche dont le diamètre était adapté à sa main. Puis il prenait une pierre tranchante ; il s'est alors rendu compte que le silex était particulièrement performant mais que pour cela il devait le tailler. Sans rien comprendre à la physique et à la chimie des solides, il pratiquait déjà le « choix des matériaux » et leur « mise en forme ». Ce choix était encore restreint, au siècle dernier, on ne disposait, par exemple, que d'un seul acier pour des applications aussi différentes qu'un fer à cheval et la tour Eiffel. De plus, le mot acier recouvrait un ensemble d'alliages à base de fer dont les compositions chimiques et les caractéristiques microstructurales étaient mal connues et mal contrôlées. La physique et la chimie ont permis à l'homme de contrôler les propriétés des matériaux et surtout ils lui ont offert la possibilité d'en créer de très nombreux autres, le choix s'est compliqué. La question qui se pose après: ***comment pouvoir choisir un matériau ?***

Le choix des matériaux est une tâche fondamentale et très complexe. En effet, dans un nombre important de cas, il ne concerne pas seulement un aspect purement technique répondant à des exigences fonctionnelles, mais aussi à des attentes relevant des préférences des utilisateurs dans le cadre d'un marché spécifique. Ainsi, le choix des matériaux doit être

analysé sous l'angle de concepteur de matériaux mais aussi sur celle du design industriel, et tenir compte de toutes les informations qui lui seront associées.

Le choix des matériaux est au cœur de la relation « Produit-Matériau-Procédé ». Il est impératif d'effectuer le choix du couple matériau- procédé à partir des critères du cahier des charges et dans un contexte de développement durable. Cela se traduit comme suit :

le produit demande certaines performances de la part du matériau

le procédé impose des contraintes de fabrication ou de construction.

Il faut savoir qu'il existe une panoplie de matériaux différents de part leur origine ou caractéristiques diverses. Ils sont regroupés dans différentes familles ; citées dans le tableau suivant (Tableau IV.4).

Tableau IV.4. Les Différentes classes des matériaux

Métaux et alliages	Fer et aciers Aluminium et alliages Cuivre et alliages Nickel et alliages Titane et alliages
Polymères	Polyéthylène (PE) Polyméthacrylate de méthyle (PMMA, Perspex) Nylon ou Polyamide (PA) Polystyrène (PS) Polyuréthane (PU) Polychlorure de vinyle (PVC) Polyéthylène Téréphtalate (PET) Polyétheréther Cétone (PEEK) Epoxydes (EP) Elastomères, dont le caoutchouc naturel (CN)
Verres et céramiques*	Alumine (Al_2O_3 , émeri, saphir) Magnésie (MgO) Verres de silice (SiO_2) et silicates Carbure de silicium (SiC) Nitrure de silicium (Si_3N_4) Ciment et béton
Composites	Polymères renforcés par fibre de verre (PRFV) Polymères renforcés par fibre de carbone (PRFC) Polymères chargés « Cermets »**
Matériaux naturels	Bois Cuir Coton/laine/soie Os Roche/craie Silex/sable/agrégats

Le concepteur d'un objet a un nombre impressionnant de matériaux à sa disposition. Lorsqu'il invente une structure ou une application, comment s'y prend-il pour choisir dans ce vaste menu le matériau le plus adapté à son objectif ? Les erreurs peuvent engendrer des désastres. Pendant la deuxième Guerre Mondiale, un type de cargo à coque soudée connut de lourdes pertes, non dues aux attaques ennemies mais au fait que ces bâtiments se cassaient en deux en mer. La *ténacité de l'acier*, et en particulier de ses soudures, était trop faible.

Au fait, le fabricant d'un objet doit prendre en compte toutes propriétés mécaniques fondamentales des matériaux associées à d'autres classes propriétés lors du choix des matériaux.

IV. 10. Relation matériau – propriétés

Un matériau subit des conditions différentes selon trois époques : sa fabrication, sa vie en service et son rejet sous forme de déchet (voir figure IV.2 ci après).

On peut très souvent observer que les propriétés que l'on espère pour cette pièce sont contradictoires, selon qu'on s'intéresse à l'une des époques ci-dessus. Par exemple, on souhaite usiner facilement une pièce métallique, qui ne doit donc pas être dure durant sa fabrication, mais durant sa vie en service, on attend d'elle la plus grande dureté. Le concepteur devra donc trouver un compromis entre les différentes variables liées aux propriétés du matériau.

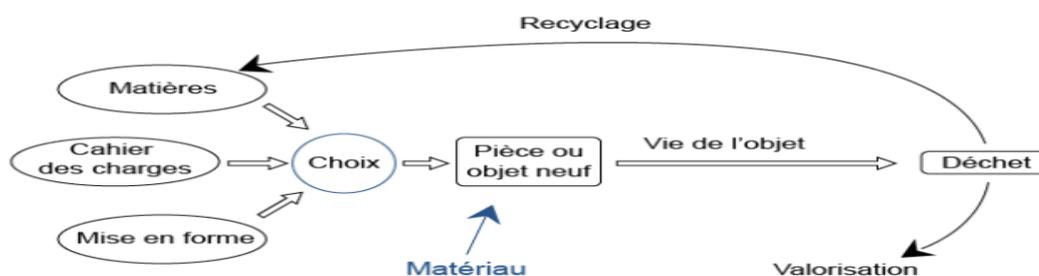


Figure IV.2. Relation matériau- propriétés

IV.11. Critères de choix d'un matériau

Les sollicitations subies par une pièce, durant les différentes étapes de sa vie, ont comme effet de la déformer, de modifier la structure et éventuellement de détruire le matériau qui la constitue. Elles sont multiples et s'apparentent avec toutes les propriétés des matériaux. Elles se présentent comme suit :

- ✓ Les sollicitations mécaniques sont ; les contraintes extérieures, la pression, les vibrations et les chocs.
- ✓ Les sollicitations thermiques concernent la dilatation, la conduction de la chaleur, les changements de phases et parfois la fusion ou l'évaporation.
- ✓ Les sollicitations physiques sont liées surtout au comportement électromagnétique (comportement magnétique, conduction électrique), mais aussi à l'effet des rayonnements.
- ✓ Les sollicitations chimiques concernent le comportement à la corrosion, la réactivité chimique, sans oublier le devenir du matériau abandonné dans l'environnement.

Pour ce qui précède, il est donc nécessaire de connaître les différentes propriétés des matériaux et d'autres facteurs également comme il est ci bien illustré sur la figure ci-dessous (figure IV. 3) :

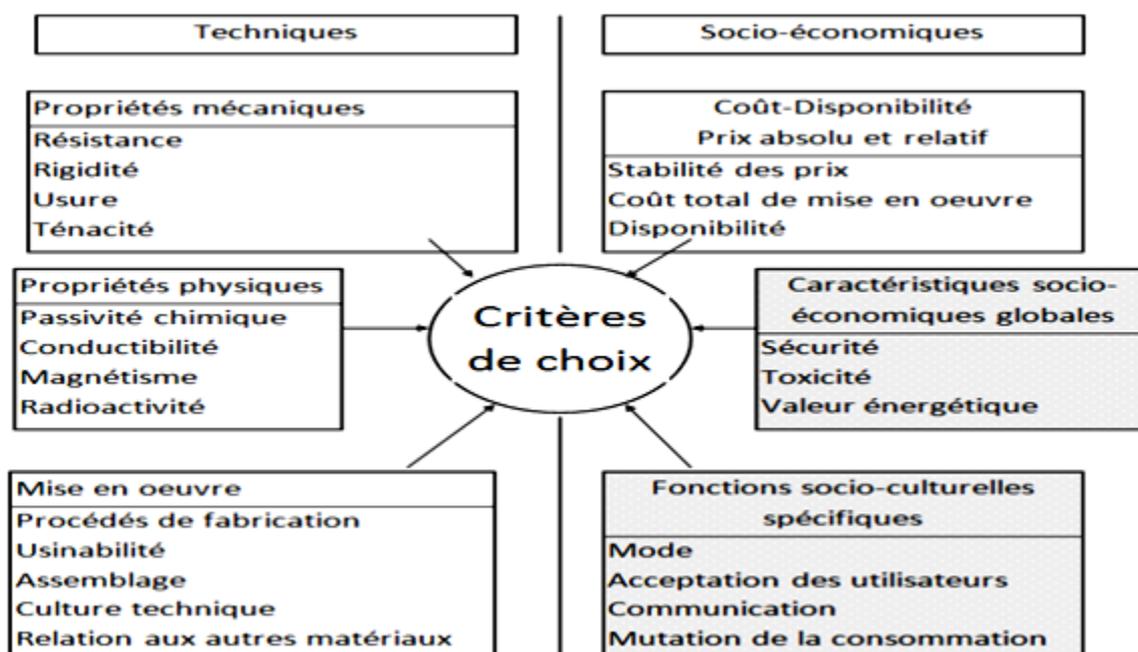


Figure IV.3. Critères de choix d'un matériau

Il est nécessaire également d'identifier les critères de choix du matériau et du procédé.

Par exemple :

- sur le matériau : caractéristiques mécaniques, esthétiques, thermiques, électriques, économiques, environnementales, physiques.

- sur le procédé : volume, masse, géométrie, taille de la série, caractéristiques économiques et environnementales.

IV.12. Concevoir pour mieux recycler : Adéquation produit / procédés de valorisation

Le développement technique et industriel de systèmes de collecte et de traitement est le résultat de la prise de conscience récente de l'impact environnemental de la fin de vie des produits. D'après la littérature, la plupart des recherches orientées fin de vie de produit sont « soit orientées vers l'amélioration de produit, soit vers l'amélioration des procédés de valorisation ». L'adéquation produit / procédé de valorisation constitue ainsi l'enjeu majeur de la conception intégrant la valorisation en fin de vie.

Comme proposé par le Forum Européen du Recyclage, l'industrie du recyclage de matériaux peut être divisée en deux secteurs (UE 2000) : le secteur traditionnel, déjà largement implanté, et constitué des recycleurs de métaux, ferreux, non ferreux et précieux, et des recycleurs de verre et de papier ; le secteur émergent, qui regroupe notamment le recyclage du plastique, du bois, des pneus, des batteries portables, des huiles usagées et des déchets de construction et de démolition. Avec la mise en place progressive des législations concernant les déchets et avec les innovations technologiques, les performances techniques et économiques de ces deux secteurs devraient évoluer sensiblement dans les prochaines années en Europe.

Il existe deux tendances essentielles du recyclage des matériaux qui consistent :

- soit à adapter les procédés de production de matières vierges afin d'admettre des matières d'origines secondaires, et produire des matériaux dont des propriétés sont équivalentes à celles des matériaux d'origine vierge (figure IV.4 (a)),
- soit à développer des procédés spécifiques permettant la production de matériaux recyclés présentant des propriétés spécifiques, la plupart du temps destinés à des applications dégradées ; cette filière n'est cependant envisageable que s'il existe un marché de ces matières secondaires (figure IV.4(b))

Il n'est aujourd'hui pas possible d'établir laquelle des deux tendances du recyclage devrait à l'avenir être la plus performante, d'un point de vue économique et environnemental, pour les différents matériaux. A titre d'exemple ; les verres extraits des tubes cathodiques : ces derniers pourraient soit être réintroduits dans la production de nouveaux tubes, soit être introduits dans des filières de production de matériaux moins techniques

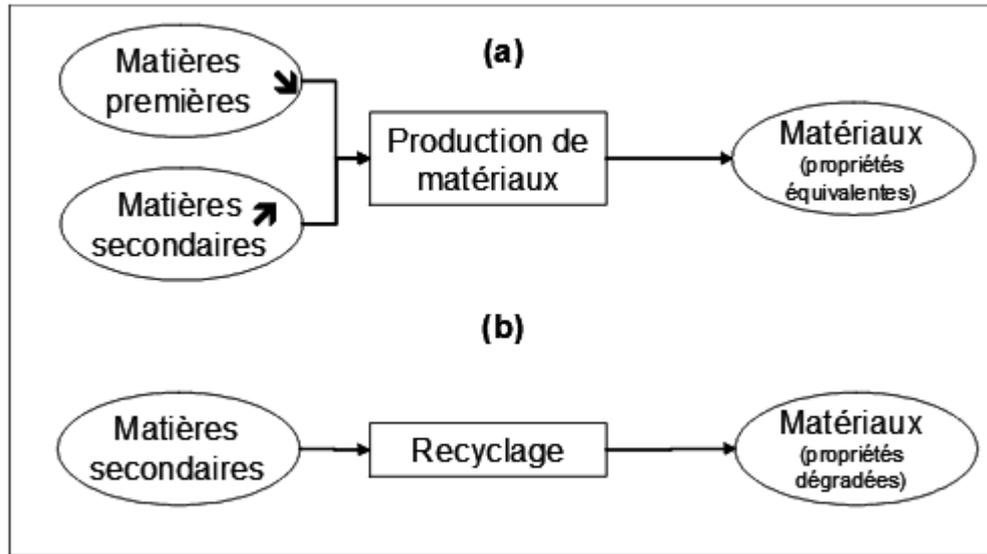


Figure IV.4. Schéma des deux tendances du recyclage des matériaux

IV. 13. Intégration des contraintes de la valorisation en fin de vie lors de la conception de produit

L'intégration de la valorisation des matériaux en fin de vie dès leur conception vise «au développement de produits commercialement viables et compatibles avec leur valorisation en fin de vie». Plutôt que «conception pour le recyclage », ou CpR, il apparaît plus pertinent de nommer une telle approche «éco-conception orientée valorisation » (ou ECOV), qui correspondrait pour les anglo-saxons à «Recovery Conscious Design ».

L'ECOV vise à orienter la conception d'un produit afin que sa valorisation en fin de vie soit facilitée et favorable environnementalement. De nombreuses méthodes et outils d'ECOV sont aujourd'hui à la disposition des industriels.

Un exemple pour illustrer la notion éco-conception, la composition- en terme de la nature des matériaux utilisés pour la réalisation d'un robot parallèle à grande vitesse (figure VI.4), fabriqué au Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Microélectronique de Montpellier (LIRMM, unité mixte de recherche CNRS 5506, équipe DEXTER du département de robotique.



Le robot PAR4 et un bras d'origine (d'après documents LIRMM).

Figure IV.5. Photographie u robot PARA4.

Les différents matériaux de construction du robot sont regroupés, dans le tableau IV.5.

Tableau IV. 5 Les différents matériaux utilisés dans la conception du robot

Matériaux	Energie nécessaire à la production (MJ/kg)	Emission de CO ₂ liée à la production (kgCO ₂ /kg)	Fraction recyclable
Composite carbone ±45°	270	20	2%
Alliage d'aluminium	130 à 200	9 à 12	85%
Acier (faiblement allié)	25 à 60	0,9 à 3	75%
Polymère synthétique (PE)	45 à 90	0,8 à 2	40%
Verre (non traité)	13 à 27	0,5 à 1,5	75%
Béton	0,05 à 4	0,1 à 0,25	8%
Lamellé-collé Contre-plaqué	5 à 13	-0,8 à 0,25	15%
Bois massif (épicéa)	1 à 4	-1,1 à -0,5	50%

Nous constatons qu'il y a de belles fractions recyclables dans ce produit et donc une bonne conception derrière.

IV.14.Exemples de recyclages des déchets en nouveaux matériaux

Exemple 1 : Application à l'automobile des principes de conception en vue du recyclage.

La diversité des matériaux employés dans l'automobile est grande, mais les métaux restent prépondérants avec 70 à 74% de la masse du véhicule, même si leur part tend à diminuer au profit des plastiques. Les matériaux ferreux représentent les 2/3 des métaux employés et l'aluminium environ 1/10. Viennent ensuite les polymères (12% de la masse du véhicule) puis les élastomères (5%), suivis du verre et des fluides qui sont au même niveau (3%). Notons que le véhicule automobile reste parmi les produits de consommation les mieux recyclés et valorisés, le recyclage des métaux étant rentable et réalisé industriellement depuis longtemps et celui des plastiques le devenant, compte tenu de l'évolution récente des cours des matières premières.

Un véhicule se décompose en 7 grandes catégories de matériaux. Il est constitué en moyenne de :

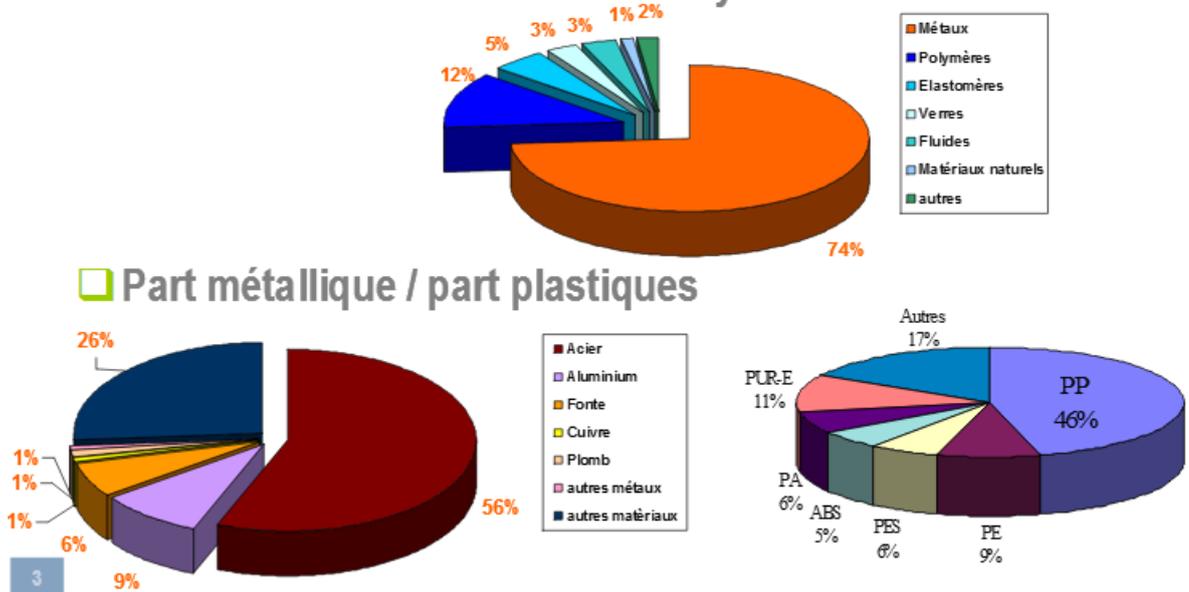


Figure IV.6. Matériaux composant un véhicule

Recyclage en 4 phases (voir le schéma rapporté en figure IV.7)

Le recyclage se décompose en quatre phases :

- La phase 1, appelée « prétraitement » a pour but la mise en sécurité du véhicule hors d'usage (VHU) qui est initialement considéré comme déchet dangereux. Cette phase 1 comprend l'explosion des airbags, la dépollution (extraction des fluides : essence avec un outil « récu'carbu » développé spécialement pour éviter tout risque d'étincelle, huiles, liquides glycolés...), démontage du catalyseur, de la batterie. Cette phase représente environ 7% de la masse du véhicule.
- La phase 2 de démontage représente elle aussi environ 7% de la masse du véhicule. Au cours de cette phase, le démolisseur démonte de grosses pièces qui vont être réutilisées (échange standard par exemple), ou bien recyclées comme les boucliers, vitres, mousses de sièges.
- Le véhicule est ensuite broyé au cours de la phase 3 et le broyat est séparé en 4 fractions au moins : les métaux ferreux, les non ferreux et les résidus de broyage (lourds et légers). Les métaux sont alors recyclés.
- La phase 4 correspond aux 10% de la masse du véhicule valorisée énergétiquement, mais comprend aussi les matériaux triés après broyage et recyclés. Des technologies de tri post broyage émergent industriellement, notamment pour le polypropylène, et commencent à se déployer sur l'Europe. Renault utilise actuellement 25 000 tonnes par an de polypropylène recyclé

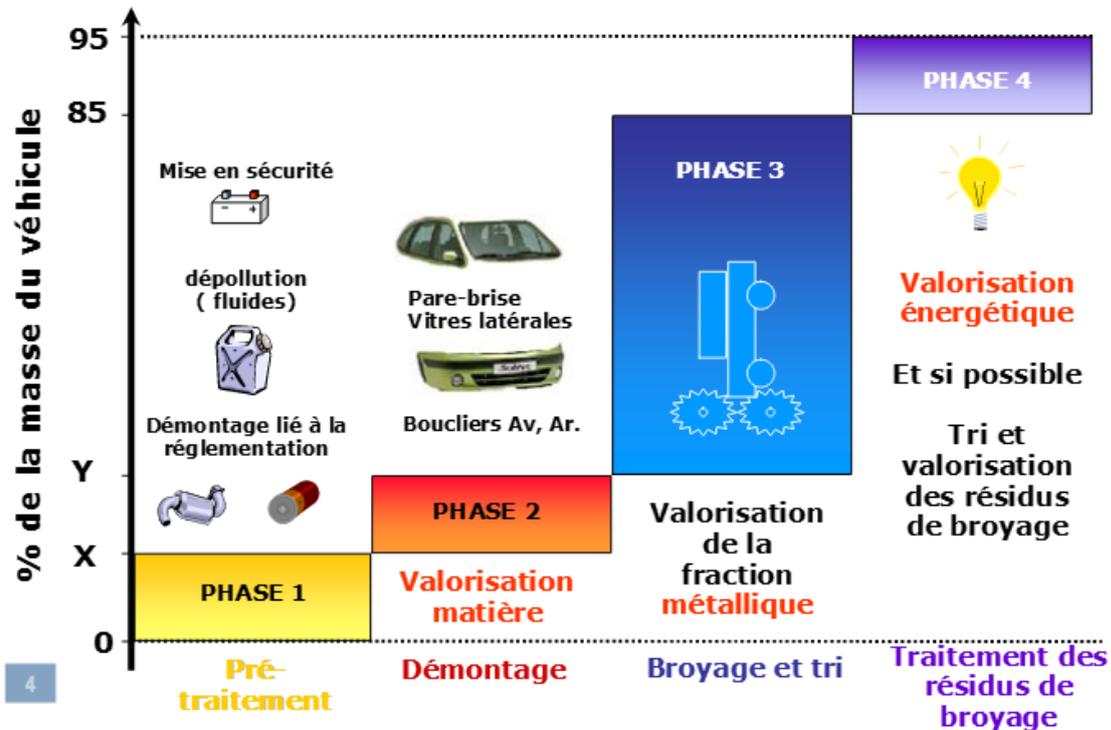


Figure IV.7. Différentes phases de recyclage d'un véhicule Renault

Exemple 2 : le recyclage des thermodurcissables

De nombreuses pièces en composites thermodurcissables (TD) arrivent en fin de vie, auxquelles il faut ajouter les rebuts de production. Ces déchets sont des composés thermodurcissables et ont longtemps été considérés comme non recyclables car ils ne peuvent être régénérés par refusion. Ces matériaux sont largement utilisés dans le secteur industriel, néanmoins, leur recyclage et leur valorisation demeurent une vraie problématique.

Il ya une dizaine d'années, plus de 90% des déchets de production en composites (TD) sont mis en décharge, avec un coût en forte augmentation et la menace d'une interdiction totale de mise en décharge pour les déchets non ultime

A l'heure actuelle, il existe plusieurs techniques pour la valorisation des matériaux composites TD (figure IV.8) : incorporation dans les thermoplastiques, applications routières, valorisation énergétique en cimenterie, etc. La filière incinération, qui est actuellement la plus utilisée, ne sera plus praticable dans quelques années. Les nouvelles directives européennes rendent la valorisation matière obligatoire pour cette filière.

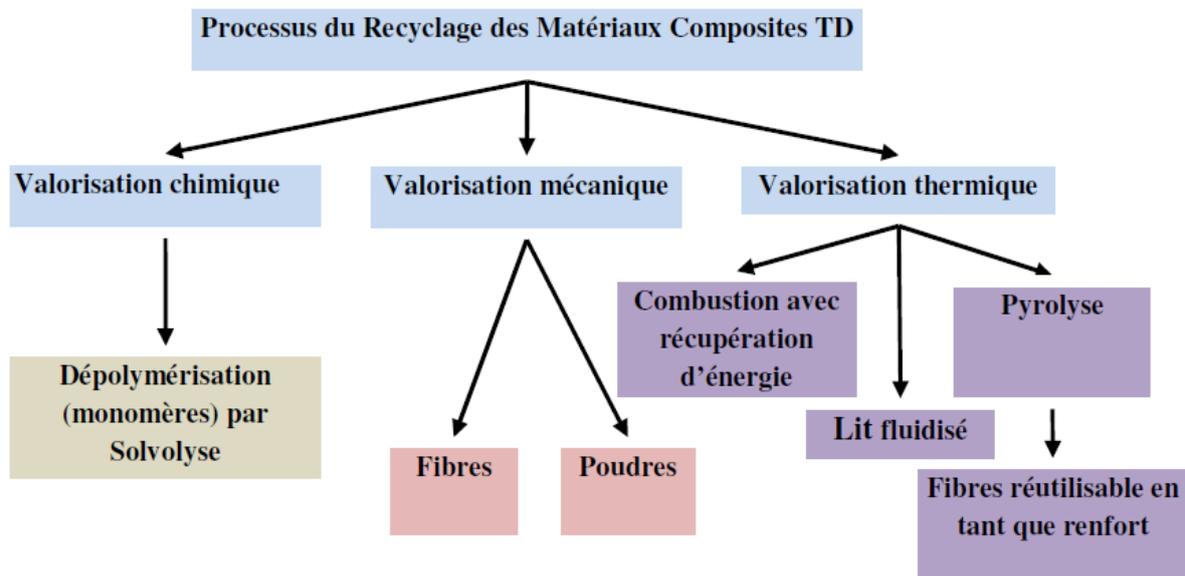


Figure IV.8. Recyclage des matériaux thermodurcissable

Exemple 3 : Valorisation des déchets de démolition comme granulats pour bétons

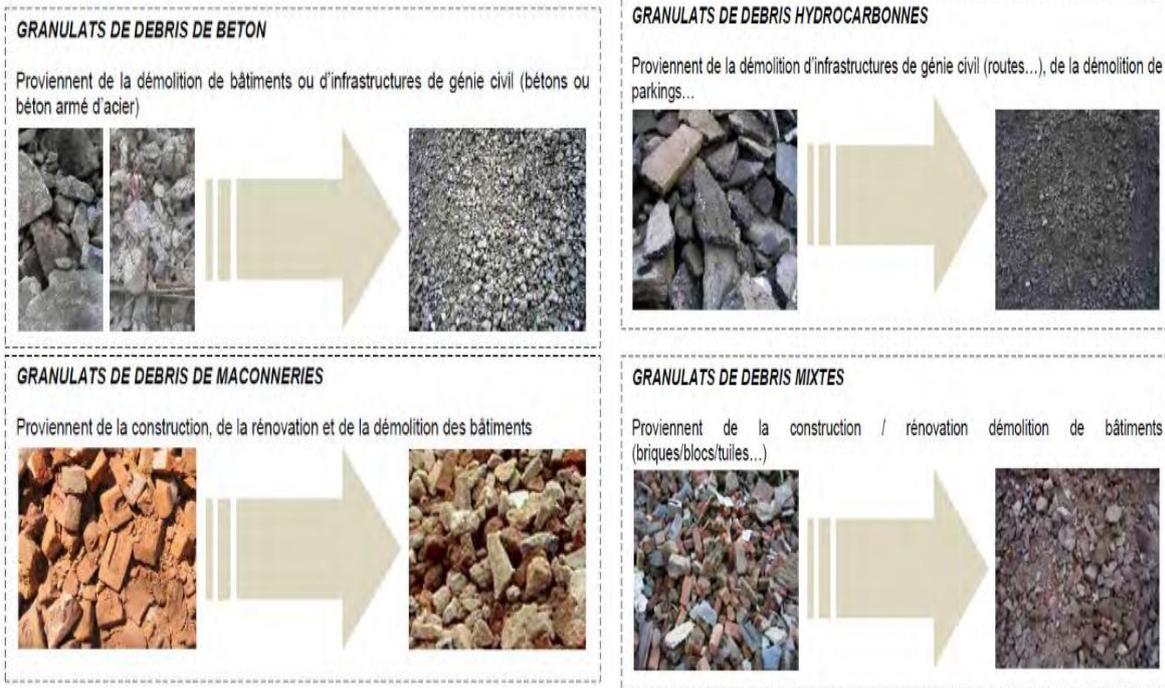
Valoriser les granulats issus des bétons de démolition pour la fabrication d'un béton hydraulique.

Le recyclage des matériaux de démolition répond aux soucis de préserver ou d'économiser les granulats naturels pour les besoins de fonctionnement des chantiers. En plus de la promotion du respect de l'environnement par l'élimination des décharges sauvages de gravats.

Les déchets de chantier actuellement considérés comme inertes en Algérie sont :

- le béton (armé ou non), les briques, tuiles et céramiques,
- le verre, les bitumes ne contenant pas de goudron, les terres et cailloux, les boues de dragage et de curage non polluées,
- les ballasts de voie de chemin de fer ;
- pour le secteur des travaux publics, il s'agit principalement de cailloux, de terres et de déblais, ainsi que de déchets minéraux de démolition d'ouvrages d'art et de génie civil.
- Les enrobés des activités routières sont, quant à eux, classés en fonction de leur composition.

GRANULATS RECYCLES (issus de bétons recyclés ou de matériaux inertes recyclés)



GRANULATS ARTIFICIELS (issus de déchets d'industrie - avec traitement - ex : scories...)



Figure IV.9. Origines des granulats

Les origines de granulats sont multiples, elles peuvent être artificiels, naturels ou recyclés (figure IV.9).

Cette dernière source est attribuée aux débris issus de la construction, démolition ou autres comme il est si bien expliqué sur la figure IV.10.

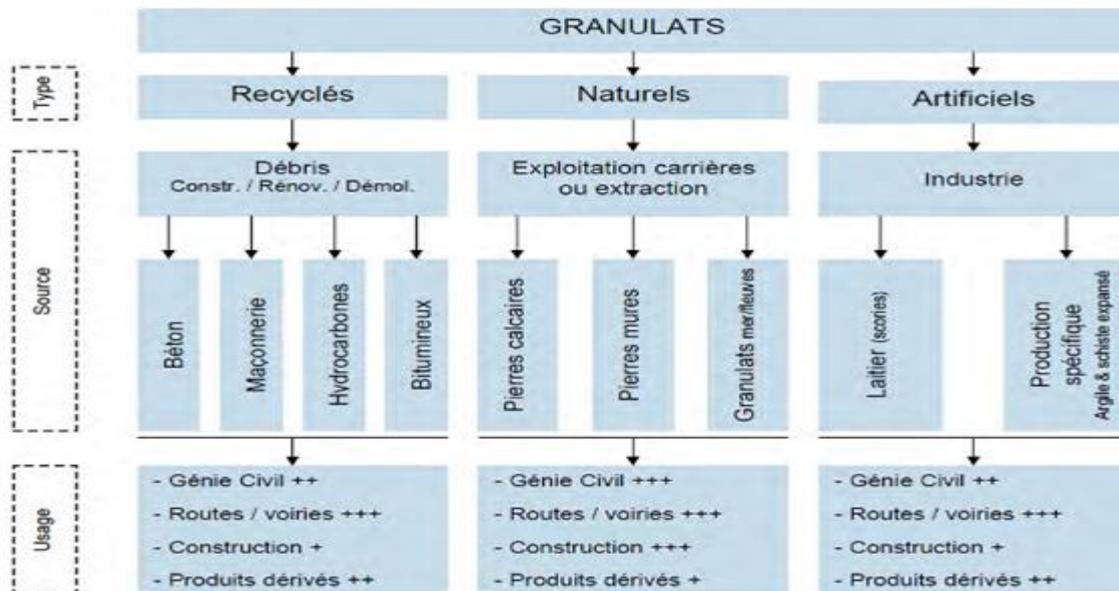


Figure IV. 10. Différents sources de granulats et leur utilisation sur le marché suivant leur typologie. Les différentes phases d'élaboration des produits issus du recyclage des matériaux de démolition se présentent comme suit :

- Sélection et stockage des produits
- Concassage et broyage des débris



Figure IV.11. Domaines d'utilisation des granulats recyclés

Les domaines d'utilisation sont multiples tels que : sous-fondation de voirie (figure IV.11)

Application en sous-fondation de voirie : utilisation de granulats recyclés (béton / mixt hydrocarbonés) pour la réalisation de chemins d'accès aux habitations, lotissements...



Ou en fondation pour différents infrastructures sportives, hospitaliers et autres (figure IV.12)

Application en fondation, sous-fondation et fondation d'infrastructures sportives



Grave non traité en assise

Utilisation de granulats recyclés en couche de fondation

Remblayage de tranchée

CETIM-ORAN Octobre 2016- 7ème édition du salon international des énergies renouvelable ,des énergies propres et du développement durable

Figure IV.13. Application en fondation et en sous- fondation de différentes infrastructures

Exemple 4 : Gisement des pneumatiques usagés en Algérie, recyclage des déchets

Le problème des pneus usagés est non seulement mondial mais aussi maghrébin et africain. Dans le bassin méditerranéen, l'Algérie a pris conscience de ce problème et a donné naissance à des stratégies locales ou en coopérations internationales qui font face à la pollution.

Les pneus hors d'usages (figure IV.14) comme des déchets spéciaux (classe S) sous le code (16.1.1) sans aucun critère de dangerosité selon décret exécutif n°06-104.

Le pneumatique se compose d'une gaine de caoutchouc renforcée par des fils métalliques et/ou textiles. On distingue les pneus usagés réutilisables (PUR) qui peuvent faire l'objet d'un rechapage ou d'une vente comme pneus d'occasion et les pneus usagés non réutilisables (PUNR) qui doivent être recyclés.



Figure IV.14. Image de pneus usagés

Selon une étude statistique estimative du gisement des Pneus Usagés Non Réutilisables (PUNR) publiée en 2011, la quantité générée annuellement en Algérie est de l'ordre de 1 439 514 unités, soit 25 918 tonnes par an (3 500 000 véhicules en 2007).

Cette quantité évoluera à la hausse à cause de l'augmentation du parc automobile Algérien qui est estimé à 8,4 millions de véhicules, d'après les déclarations du Ministre du Transport en septembre 2016 au journal El Moudjahid.

VOIES DE VALORISATION des pneus usagés

1. La réutilisation par rechapage

Il s'agit des pneus dont la bande de roulement a atteint sa limite d'usure, mais dont le support est intègre en ayant conservé tout son potentiel de sécurité. Le rechapage (figure IV.15) consiste à ôter la bande de roulement usée et à la remplacer par une bande neuve, en

garantissant au pneu rechapé des performances identiques à un pneu neuf, en toutes saisons et dans les mêmes conditions d'utilisation.



Figure IV.15. Réutilisation des pneus usagés par rechapage

2.Valorisation de la matière : exemple le caoutchouc des pneus usagés

La valorisation matière (figure IV.16) est le processus de traitement et de transformation des pneus usagés qui en permet une nouvelle utilisation sous une autre forme, par exemple en broyats, en granulats ou en poudre.



Figure IV.16. Valorisation matière des pneus usagés

Les domaines d'applications sont :

- 1_Aires de jeux ;
- 2_Piste d'athlétisme ;
- 3_Bétons ;
- 4_Eclisses de tramway;

- 5_ Ecrans acoustiques ;
- 6_ Enrobés routiers ;
- 7_ Revêtement de chaussées ;
- 8_ Gazons synthétiques ;
- 9_ Objets moulés et pièces automobiles ;
- 10_ Recyclage de fils métalliques.

3. Valorisation énergétique

La valorisation énergétique (figure IV.17) est l'utilisation de broyats de pneus usagés ou de pneus entiers comme combustible alternatif pour la production d'énergie. Cette énergie sert à fournir de la chaleur et/ou de l'électricité.

C'est donc le pouvoir calorifique du pneu qui est recherché lorsque celui-ci est brûlé.



Figure IV.17. Valorisation énergétique

Les domaines d'Applications de ce type de valorisation sont :

1-Aciérie : La composition du pneumatique présentant une grande quantité de carbone, il est ainsi possible de remplacer l'antracite que les aciéries électrique utilisent pour réduire la rouille des ferrailles usagées.

2–**Cimenteries** : les pneus usagés sont utilisés comme combustible de substitution dans les fours des cimenteries, de façon à réduire leurs consommations en combustibles fossiles en vue de diminuer leur consommation énergétique. Les pneus usagés ont l'avantage de présenter un Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) élevé proche à d'autres combustibles conventionnels

Les Pneus Usagés Non Réutilisables (PUNR) constituent une matière première secondaire à part entière exploitable dans des applications diverses. L'utilisation des PUNR, entiers ou déchiquetés, comme combustible de substitution en cimenteries et en aciérie est l'un des profils les plus envisageables pour la valorisation des pneus usagés en Algérie (figure IV.16)..

D'autres applications annexes peuvent être envisagées à savoir:

- Valorisation de la fibre de textile et le fil métallique;
- Recyclage par le rechapage des pneus pour poids lourd;
- Valorisation du caoutchouc sous ses différentes formes



Figure IV.18. Domaines d'utilisation les **Pneus Usagés Non Réutilisables**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1- BALET J.-M., « Aide-mémoire de Gestion des déchets », Dunod, 2e édition, 2008, 248 pages, ISBN 978- 2-10-051627-8.

2-Journal officiel algérien N°77, 15 Décembre 2001.

3-Brahim Djemaci, « La gestion des déchets municipaux en Algérie : Analyse prospective et éléments d'efficacité » ; Environmental Sciences. Université de Rouen, FRANCE ,2012.

4- Abrassart C, « Introduction à l'Analyse du Cycle de Vie et ses applications », cours, Ecole polytechnique de Montréal, 2011.

5-Abrassard C., Aggeri F., « La naissance de l'éco-conception, Du cycle de vie du produit au management environnemental produit », Responsabilité et environnement, n° 25, Janv. 2002

6- Caillol S., (2008), «Analyse de cycle de vie et éco -conception: les clés d'une chimie nouvelle», Annales des Mines -Réalités industrielles, novembre, p.34-41.

7- Butel-Bellini B., Janin M., (1999), «Ecoconception : état de l'art des outils disponibles », Techniques de l'ingénieur, p.1-12.

8-Puaut M., (2008), «L'éco-conception: une valeur ajoutée pour les entreprises et un enjeu futur de compétitivité?», Annales des Mines-Réalités industrielles, p.85-93.

9- Matthieu Puigt, « Gestion des déchets. Une introduction », IUT du Littoral Côte d'Opale Licence Professionnelle GRIT, FRANCE. Cours. Année universitaire 2015-2016.

10-Alain Damien, « GUIDE DU TRAITEMENT DES DÉCHETS ; Réglementation et choix des procédés », 6e édition, Dunod, Paris, 2002, 2004, 2006, 2009, 2013 ISBN 978-2-10-058532-8

11- Denis Bouyer , « Le traitement des déchets, Laboratoire de Génie des Procédés d'élaboration des Bioproduits » ; Licence Professionnelles ALIPACK ; Université Montpellier 2 .

12- CHENANE A., « Analyse des coûts de la gestion des déchets ménagers en Algérie à travers la problématique des décharges publiques : Cas des communes de la wilaya de Tizi-Ouzou ». Faculté des sciences économiques et de gestion, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

13-Jean-Pierre MICHEL, « Propriétés mécaniques des matériaux ;*Critères de choix et méthodes de sélection* », *BULLETIN DE L' UNION DES PHYSICIENS*, École des Mines - Parc de Saurupt - Nancy, France.

14- MOUPELE N.G., « Proposition d'un plan de gestion des déchets applicable dans les pays en développement », université de PORTO, 2013.

15- Utilisation des déchets et sous-produits en technique routière, Rapport préparé **par un groupe de recherche routier de L'OCDE (Organisation de coopération et de développement économique, Paris, septembre 1977.**