

# *Cours : Récupération et Recyclage des déchets*

**Niveau : L3**

**Spécialité : LP Gestion Durable Traitement et Valorisation des Déchets**

**Univ. Frères Mentouri Constantine1  
Faculté : Sciences de la Nature et de la Vie  
Département de Biologie et Ecologie Végétale  
Responsable de la matière : Dr. BAZRI K.E.D**

---

## *Introduction :*

**La crise de l'énergie et les dangers de la pollution ont développé une prise de conscience anti-gaspillage.** On récupère de plus en plus différents types de déchets, etc. L'État, les collectivités locales, les entreprises, sont en première ligne de cette bataille. **Plus de 500 millions de tonnes** de déchets sont produits chaque année : **ordures des ménages, rejets des industries, résidus de l'agriculture**, dans lesquels se retrouvent **pêle-mêle, papiers et métaux, tissus et caoutchouc, verre et huiles, boues et plastique...** Ces déchets, il faut s'en débarrasser. Alors, vaille que vaille, on les enfouit sous terre, on les jette dans les rivières, on les brûle, ou on les abandonne au hasard.

**Agir ainsi**, c'est prendre, délibérément, **le risque de déverser sels de potasse, chlorure de calcium et mercure dans les cours d'eau, de rejeter dans l'atmosphère, amiante et poussières sulfureuses, de laisser des quantités trop importantes de phénol et de cyanure s'infiltrer dans les sols et s'entasser au bord des chemins, papiers gras, carcasses de voitures et vieux matelas.**

**Agir de la sorte**, c'est aussi **dispenser matières premières et énergie.**

Avec les différentes lois, relatives " à l'élimination des déchets et à la récupération des métaux " jette les bases de cette nouvelle politique " économique " :

- Les communes doivent assurer la collecte et la récupération des ordures ménagères.

- Les industriels sont responsables des déchets qu'ils produisent (les sanctions prévues vont de l'amende à l'emprisonnement).

Si nous prenons l'exemple des déchets des ménages. Chaque année, les ménages produisent environ 14 millions de tonnes d'ordures ménagères (plus de 250 kg par an et par habitant), auxquels il faut ajouter un million de tonnes d'encombrants (vieux matelas, appareils ménagers hors d'usage, etc.). Actuellement, en Algérie, le service de collecte des résidus ménagers est encore insuffisant. Plus 80 % est répandue dans des décharges contrôlées, ou incinéré.

**La récupération de déchets** consiste à **regrouper des déchets de diverses origines (ménages, entreprises)** afin de les trier, les conditionner puis les réexpédier vers des filières **de recyclage** ou **d'élimination**. Le tri des déchets est réalisé en chaînes de tri, où des phases de tri manuel succèdent à des phases de tri mécanique (**tri aéraulique, magnétique, vibratile, optique**, par **criblage**, etc.). Le tri est parfois précédé d'une phase de pré-tri afin de retirer les encombrants et autres indésirables. Le conditionnement des déchets consiste à les compacter pour obtenir des balles ou des paquets. **La récupération de déchets est en général une activité fortement mécanisée.**

## **1. Le recyclage : l'enjeu du XXI ème siècle**

Depuis cinquante ans, l'élévation du niveau de vie a entraîné un doublement des achats de biens manufacturés par les ménages. L'utilisation croissante des ressources naturelles et leur raréfaction, font que le recyclage et le réemploi sont favorisés voire nécessaires.

Longtemps négligé, le recyclage a toujours existé mais aujourd'hui il est au cours de l'industrie des déchets. Favorisé par la montée des prix et l'évolution du cours des matières premières ainsi que par les réglementations, le recyclage connaît, depuis des décennies, des multiples évolutions techniques qui permettent d'obtenir une nouvelle « matière première ».

Cette philosophie du recyclage a été marquée par la loi grenelle 1 européenne du 3 août 2009, en plus de la réduction des déchets, elle fixe des objectifs de recyclage à atteindre :

35 % des déchets ménagers et assimilés ;

75 % des déchets d'emballage ménagers et des déchets banals des entreprises.

Les enjeux du recyclage sont multiples :

**a) Enjeux économiques :**

Garder une indépendance en terme de fourniture de matière première, en utilisant des matériaux recyclés ;

Maîtriser ses coûts de fourniture de matériaux ;

Développer de nouvelles activités industrielles et commerciales, souvent **appelées économie verte**.

**b) Enjeux environnementaux :**

Consommer moins de ressources et d'espaces naturels (surface, milieux protégés, gisement, mines et carrières), afin d'en transmettre aux générations futures ;

Limiter le nombre ou l'extension des installations de stockage (ISDND) ;

Limiter les déchets entrants dans les incinérateurs afin de produire moins de déchets ultimes ;

Baisse de l'empreinte carbone avec l'économie d'opération d'extractions du milieu naturel ou de transformations industrielles.

En effet, le traitement seul des matières premières ne suffit plus. L'enjeu écologique est désormais tourné vers le monde industriel.

Les sociétés de recyclage mettent aujourd'hui tout en œuvre pour assurer l'ensemble de la gestion et de la valorisation des déchets.

- Par du nouveau matériel pour l'environnement
- Par une information accrue auprès des entreprises
- Par des participations à des événements locaux sur l'environnement et le recyclage

**Importance de l'écoconception :** L'écoconception est le premier maillon de la chaîne qui permettra de poursuivre ces enjeux puisque qu'il faut un **maximum de matières premières recyclables dans un produit pour aller jusqu'au bout du système**.

Mieux **fabriquer**, mieux **trier**, mieux **recycler** sont les objectifs environnementaux de demain.

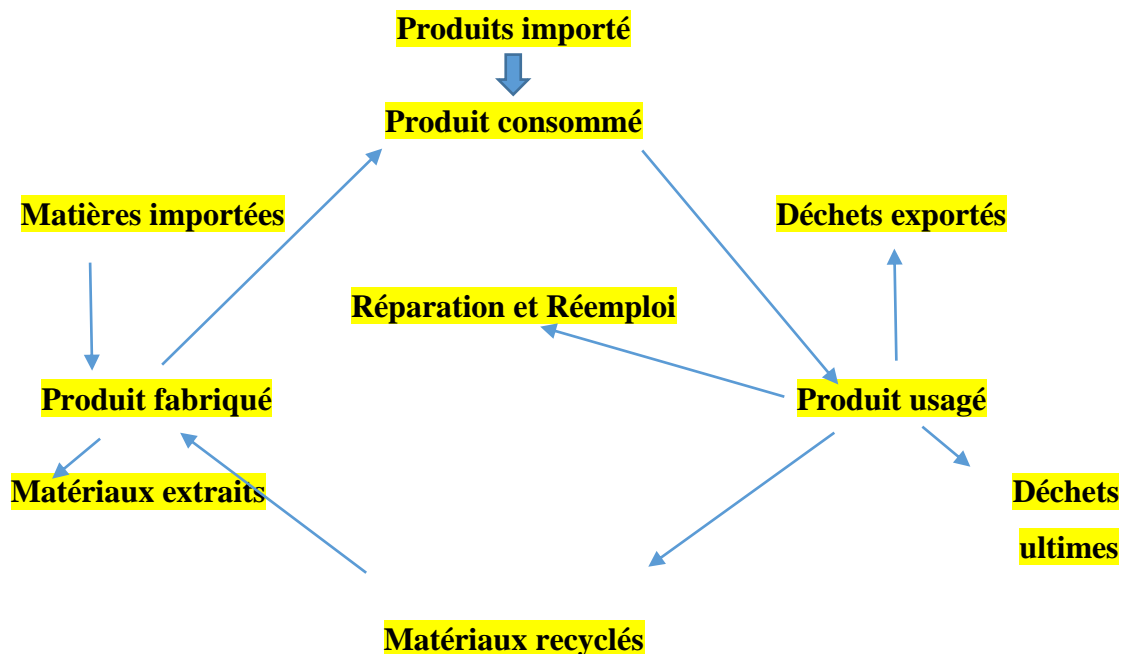
**c) Enjeux sociaux :**

Permettre à des publics en difficulté vis-à-vis de l'emploi, de reprendre le chemin de l'emploi. En effet, l'industrie de recyclage est souvent liée à des emplois de réinsertion ;

Permettre à des personnes de profiter de biens remis en service, comme de l'électroménager, des ordinateurs, des matelas ...

Se sont ainsi de nombreux types de matériaux que l'on peut recycler ; plastiques, verre, papier, bois, métaux ...

Avec une vision globale, en partant soit d'un produit de consommation, soit d'un produit usagé ou même un déchet, le Service de l'observation et des statistiques appartenant au Commissariat général au développement durable, 2010 (SOeS) propose un cycle « vertueux » présenté dans le schéma ci-dessous.



*Un cycle « vertueux » = Cycle de vie des déchets*

Peu de produits externes sont apportés au cycle qui permet de produire de nouveaux biens. Ce cycle peut être exploité par n'importe quel point d'entrée, faisant théoriquement un système constant et infini. Cependant, des matériaux sont incorporés au cours du cycle de vie d'un produit ; et des déchets ultimes, non recyclables par définition sortent du cycle.

Un des exemples de bon fonctionnement de cycle dit « infini » est celui du recyclage du verre, à découvrir plus loin dans ce chapitre. Pour les métaux, nous avons le recyclage de l'aluminium également recyclable à l'infini, ce qui permet d'économiser près de 95% de l'énergie nécessaire à la production de l'aluminium de première fusion.

## **2. La pratique du zéro déchet comme pratique de consommation**

Le Zéro Déchet est une démarche visant à réduire au maximum notre production de déchets. Il s'agit bien de revoir son mode de consommation afin de produire moins de déchets à la source, et non pas simplement de mieux intégrer le recyclage dans nos modes de vie.

Car en premier lieu, le meilleur déchet, c'est celui qu'on ne produit pas.

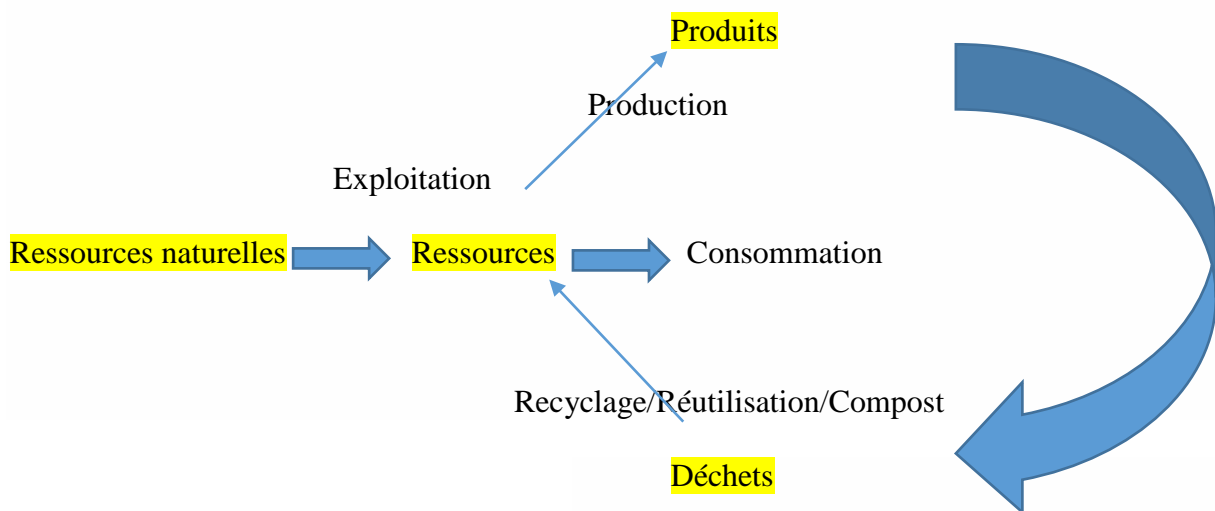
Pour réduire nos déchets, le problème doit être pris à la source par les politiques et les industriels (revoir les modes de production, l'utilisation de matières premières, les circuits de distribution, etc.).

Mais cela peut aussi venir d'une action individuelle. Par des actions simples, il est tout à fait possible de réduire la quantité de déchets générés par un foyer et de limiter ainsi notre impact sur la planète.

Nous distinguons deux types d'application du concept de zéro déchet. Tout d'abord, à une échelle macroéconomique, les communes et les agglomérations adoptent peu à peu des politiques zéro déchet. Puis à un niveau microéconomique, à l'échelle des individus par la pratique du zéro déchet.

### **a) Principe :**

Les différents processus d'exploitation des ressources, de production et de consommation sont basés sur un modèle linéaire. Le concept du zéro déchet consiste en un changement de paradigme où « le déchet » n'est plus considéré comme perdu car il est réutilisé, recyclé, composté. L'objectif du zéro déchet est d'atteindre « le zéro déchet non valorisé », et non « le zéro déchet produit », en combinant l'ensemble des différents modes de valorisation disponibles.



**Figure : Gestion des déchets circulaire**

Ce processus se veut un système fonctionnant en boucle fermée. En effet, une partie de ce concept s'appuie sur la modification des processus de production en encourageant la réutilisation, les principes de l'économie circulaire pour réemployer tous les produits et leurs composants. une autre partie s'appuie sur la modification des procédés de valorisation des déchets en encourageant le compostage des biodéchets.

### **b) S'intéresser à la pratique du zéro déchet**

Le zéro déchet est une démarche qui prend de plus en plus d'ampleur. Chacun peut, pour cela, s'aider de quelques règles simples, comme celles des 5 R préconisées par Béa Johnson (2013).

Ces cinq règles d'Or du Zéro Déchet sont :

1. Refuser ce dont on n'a pas besoin (tout objets inutiles, courriers non désirés, babioles ou petits cadeaux gratuits, produits jetables...)
2. Réduire ce dont on a besoin (meubles, habits, chaussures...)

3. Réutiliser en remplaçant tout produit jetable par un équivalent réutilisable (ceci inclut de faire ses courses avec des contenants réutilisables) et en achetant d'occasion.
4. Recycler ce qu'on ne peut pas refuser, réduire ou réutiliser (il reste donc très peu de matériaux à recycler).
5. Composter le reste (détritus organiques : épluchures de fruits et légumes, mais aussi peluches de sèche-linge, ongles et cheveux coupés, balayures, etc).

Enfin, comme le rappelle la Famille (presque) Zéro Déchet : *En visant le Zéro Déchet, vous touchez logiquement à tous les pans de votre vie. Le Zéro Déchet, ce n'est pas seulement une question d'emballages dans votre poubelle, c'est une occasion de faire un choix de vie et de société.*



En adoptant le Zéro Déchet, on cherche à lutter contre la **pollution environnementale**, le **gaspillage** et à favoriser la **consommation responsable**.

C'est tout un art de vie avec de **nouvelles pratiques** à mettre en place dans son quotidien pour ne produire aucun ou très peu de gaspillage. Il nous amène à **donner du sens** à ce que l'on fait et finalement à avoir une **meilleure qualité de vie**.

### **c) Les enjeux socioéconomiques et environnementaux du zéro déchet**

Au niveau économique la politique zéro déchet représente tout d'abord un bénéfice économique pour les collectivités en termes de réduction des coûts. Les méthodes d'élimination des déchets tels que l'incinération représentent des coûts importants à assumer pour les collectivités. Un nouveau marché autour des matières premières recyclées pourrait se développer de manière significative et donnerait lieu à un bénéfice économique pour les producteurs. Le commerce de ces matériels pourrait permettre de développer de nouvelles filières pour la réutilisation, le recyclage et le compost, créant ainsi de nouveaux emplois.

La mise en place de la pratique du zéro déchet par des acteurs locaux favorise une mobilisation et un engagement citoyen. L'application d'une telle politique pourrait être vecteur de rapprochement social entre les habitants d'une commune.

Enfin, la politique zéro déchet apparaît également comme un moyen de remédier à l'exploitation et la diminution des ressources naturelles non renouvelables. De plus, cette politique s'inscrit dans une optique de limitation des risques de pollution de l'environnement de par les modes de gestion des déchets les plus respectueux de l'environnement adoptés.

## **3. La chaîne du recyclage et de la récupération**

**\*\* Récupération des déchets :** La récupération des déchets est la première étape du recyclage. Elle est souvent associée au terme de « **tri sélectif** ».

**\*\* Qu'appelle-t-on tri sélectif ?** Il s'agit en fait de dissocier les matériaux pouvant être transformés ou réutilisés de ceux qui sont destinés à être jetés ou incinérés.



Que ce soit pour les **entreprises** ou les **particuliers**, de nombreux modes de récupération sont proposés pour la collecte sélective des déchets. C'est le cas des :

- **Bennes de recyclage** mises à disposition par les mairies
- **Poubelles de différentes** couleurs chez les particuliers
  - **Location de bennes** pour les entreprises

L'impact de ce tri est primordial pour l'écologie puisqu'il permet de redonner une seconde vie à des objets ou matériaux. C'est ce que l'on appelle : la **valorisation des déchets**.

**\*\* Collecte et recyclage des déchets :** Une fois les déchets orientés, ils sont ensuite collectés puis transportés vers des sociétés de tri et de préparation avant de débiter la phase du recyclage. Il peut s'agir de :

- **Recyclage de matières premières** (verre, plastique, métaux)
  - **Recyclage de câbles électriques**
  - **Recyclage de déchets industriels**
    - **Ou autres ...**

#### **4. Des Lois relatives à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux**

- ✓ **Loi N°01-19 du 12 décembre 2001** relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- ✓ **Décret exécutif N°02-175 du 20 mai 2002** portant création, organisation et fonctionnement de l'Agence Nationale des Déchets (AND).
- ✓ **Décret exécutif N°02-372 du 11 novembre 2002** relatif aux déchets d'emballages.
- ✓ **Décret exécutif N°04-409 du 14 décembre 2004** fixant les modalités de transport des déchets spéciaux dangereux.
- ✓ **Décret exécutif N°4-410 du 14 décembre 2004** fixant les règles générales d'aménagement et d'exploitation des installations de traitement des déchets et les conditions d'admission de ces déchets au niveau de ces installations.

- ✓ **Décret exécutif N°05-314 du 10 septembre 2005** fixant les modalités d'agrément de générateurs et / ou détenteurs de déchets spéciaux.
- ✓ **Décret exécutif N°05-315 du 10 septembre 2005** fixant les modalités de déclaration des déchets spéciaux dangereux.
- ✓ **Décret exécutif N° 06-104 du 28 février 2006** fixant la nomenclature des déchets, y compris les déchets spéciaux dangereux.

**Ces décrets et textes législatives traitent s'une manière général les points suivants :**

**a) Production et distribution des produits générateurs de déchets :**

La fabrication, la détention en vue de la vente, la mise en vente, la vente et la mise à la disposition de l'utilisateur, sous quelque forme que ce soit, de produits générateurs de déchets peuvent être réglementées en vue de faciliter l'élimination desdits déchets ou, en cas de nécessité, interdites.

Il peut être fait obligation aux producteurs, importateurs et distributeurs de ces produits ou des éléments et matériaux entrant dans leur fabrication de pourvoir ou de contribuer à l'élimination des déchets qui en proviennent.

Il peut être prescrit aux détenteurs des déchets desdits produits de les remettre aux établissements ou services désignés par l'administration, dans les conditions qu'elle définit.

**b) Production et distribution des produits générateurs de déchets :**

Les producteurs ou importateurs doivent justifier que les déchets engendrés, à quelque stade que ce soit, par les produits qu'ils fabriquent ou importent sont de nature à être éliminés dans les conditions prescrites dans certains articles et textes. L'administration est fondée à leur réclamer toutes informations utiles sur les modes d'élimination et sur les conséquences de leur mise en œuvre.

**c) Elimination des déchets**

\*\* Pour certaines des catégories de déchets visées et précisées par décret, l'administration fixe, sur tout ou partie du territoire national, les conditions d'exercice de l'activité d'élimination et en particulier celles de transporteur de déchets.

Ces mêmes catégories de déchets ne peuvent être traitées que dans les installations pour lesquelles l'exploitant est titulaire d'un agrément de l'administration. Elles cessent de pouvoir être traitées en vue de leur élimination dans les installations existantes pour lesquelles cet agrément n'a pas été accordé un an après la publication du décret prévu au précédent alinéa.

Des plans approuvés par décret en Conseil d'Etat après enquête publique et consultation des autorités locales peuvent définir, dans les limites territoriales qu'ils précisent, les conditions dans lesquelles il doit être procédé à l'élimination de certaines catégories de déchets. Dans les zones où un tel plan est applicable, les demandes d'agrément présentées sont examinées compte tenu des dispositions de ce plan et notamment des objectifs qu'il détermine en vue d'assurer un rendement optimal aux installations publiques et privées d'élimination des déchets.

\*\* Toute personne qui remet ou fait remettre des déchets appartenant aux catégories à tout autre que l'exploitant d'une installation d'élimination agréée, est solidairement responsable avec lui des dommages causés par ces déchets.

#### **d) Dispositions concernant les collectivités locales :**

Les communes ou les groupements constitués entre elles assurent, éventuellement en liaison avec les départements et les établissements publics régionaux, l'élimination des déchets des ménages.

Ces collectivités assurent également l'élimination des autres déchets définis par décret qu'elles peuvent, eu égard à leurs caractéristiques et aux quantités produites, collecter et traiter sans sujétions techniques particulières. Elles peuvent à cet effet créer une redevance spéciale lorsqu'elles n'ont pas institué.

L'étendue des prestations afférentes à ce service et les délais dans lesquels lesdites prestations doivent être effectivement assurées sont fixées, pour chaque département, par arrêté préfectoral, dans des conditions déterminées par décret en Conseil d'Etat, en fonction des caractéristiques des communes et notamment de l'importance des populations totale, agglomérée, sédentaire et saisonnière et de l'état des dessertes routières. Ce même décret détermine les conditions dans lesquelles l'autorité administrative, après avis des conseils municipaux intéressés, peut accorder des dérogations temporaires.

#### **e) Transféré par décret :**

Le maire peut régler la présentation et les conditions de la remise des déchets. Le service communal et, le cas échéant, les personnes dûment autorisées peuvent seuls recevoir ces déchets.

L'élimination de ces déchets par la personne qui les produits peut être réglementée.

L'obligation générale d'entretien à laquelle sont soumis les propriétaires et affectataires du domaine public comporte celle d'éliminer ou de faire éliminer les déchets qui s'y trouvent.

#### **f) Dispositions concernant la récupération :**

\*\* L'élimination des déchets doit être assurée, aux stades correspondant à toutes les opérations dans des conditions propres à faciliter la récupération des matériaux, éléments ou formes d'énergie réutilisables.

\*\* Des décrets en Conseil d'Etat peuvent réglementer les modes d'utilisation de certains matériaux, éléments ou formes d'énergie afin de faciliter leur récupération ou celle des matériaux ou éléments qui leur sont associés dans certaines fabrications.

La réglementation peut porter notamment sur l'interdiction de certains traitements, mélanges ou associations avec d'autres matériaux ou sur l'obligation de se conformer à certains modes de fabrication.

#### **g) Abrogé (Annulé) par Ordonnance (Recommandation) :**

\*\* Sous réserve des conventions internationales et des dispositions relatives à la répression des fraudes, le Gouvernement peut, en vue de contribuer à la sauvegarde de l'environnement ou de faire face à une situation de pénurie, fixer la proportion minimale de matériaux ou éléments récupérés qui doit être respectée pour la fabrication d'un produit ou d'une catégorie de produits.

Les producteurs et importateurs intéressés peuvent se lier par une convention ayant pour objet d'assurer le respect global de cette proportion, appréciée au regard de la quantité totale dudit produit ou de ladite catégorie de produits, fabriquée sur le territoire national ou importée.

L'utilisation d'une proportion minimale de matériaux ou éléments récupérés peut être imposée par décret en Conseil d'Etat aux fabricants et, le cas échéant, aux importateurs des produits visés qui ne sont pas parties à cette convention.

\*\* En ce qui concerne les catégories de produits précisées par décret en Conseil d'Etat, est réputée non écrite toute stipulation créant une discrimination en raison de la présence de matériaux ou éléments de récupération dans les produits qui satisfont aux règlements et normes en vigueur.

\*\* Pour les catégories de matériaux déterminées par décret en Conseil d'Etat, l'administration fixe les conditions de l'exercice de l'activité de récupération, sur tout ou partie du territoire national.

\*\* Des plans approuvés par décret en Conseil d'Etat après enquête publique peuvent définir, dans les limites territoriales qu'ils précisent, les conditions dans lesquelles il doit être procédé à la récupération des matériaux, éléments et, éventuellement, formes d'énergie réutilisables. Dans les zones où un tel plan est applicable, les conditions visées sont fixées compte tenu des dispositions de ce plan et notamment des objectifs qu'il détermine en vue d'assurer un rendement optimal aux installations publiques et privées de récupération.

#### **h) Sanctions**

\*\* sont applicables à tous ceux qui, chargés à un titre quelconque de la direction, de la gestion ou de l'administration de toute entreprise ou établissement, ont sciemment laissé méconnaître par toute personne relevant de leur autorité ou de leur contrôle les dispositions mentionnées audit article.

\*\* Sera punie d'un emprisonnement et d'une amende ou de l'une ou l'autre de ces deux peines seulement, toute personne qui aura :

1° Refusé de fournir à l'administration les informations ou fourni des informations inexactes ;

2° Méconnu les prescriptions des décrets ;

3° Refusé de fournir à l'administration toutes informations sur la nature, les caractéristiques, l'origine, la destination et les modalités d'élimination des déchets qu'elle produit, remet ou prend en charge, en application des textes, ou fourni des informations inexactes ;

4° Remis ou fait remettre des déchets à tout autre que l'exploitant d'une installation agréée ;

5° Eliminer des déchets ou matériaux sans être titulaire de l'agrément ;

6° Eliminé ou récupéré des déchets ou matériaux sans satisfaire aux prescriptions concernant les caractéristiques, les quantités, les conditions techniques et financières de prise en charge des déchets ou matériaux et les procédés de traitement mis en oeuvre,

7° Méconnu les prescriptions des articles et textes ;

8° Mis obstacle à l'accomplissement des contrôles ou à l'exercice des fonctions des agents.

En cas de condamnation prononcée pour les infractions, le tribunal pourra ordonner, sous astreinte, la remise en état des lieux endommagés par les déchets qui n'auront pas été traités dans les conditions conformes à la loi.

En cas de condamnation prononcée pour des infractions, le tribunal pourra, en outre, ordonner la fermeture temporaire ou définitive de l'installation et interdire à son exploitant d'exercer l'activité d'éliminateur ou de récupérateur.

En cas de condamnation prononcée pour des infractions et commises à l'aide d'un véhicule, le tribunal pourra, de plus, ordonner la suspension du permis de conduire pour une durée n'excédant pas cinq ans.

## **5) Recyclage des plastiques**

Auparavant, le faible coût des produits pétroliers de base ne favorisait pas l'émergence d'un marché conséquent des matériaux plastiques recyclés. Aujourd'hui et depuis quelques années, le recyclage des matières plastiques représente un enjeu considérable. En effet, la valeur calorifique du produit et la montée du prix du pétrole, font que le recyclage du plastique a belles années à venir.

La principale motivation au recyclage des plastiques est l'économie globale de matière première pétrolière, surtout pour les pays comme le nôtre qui sont dépendants de fournisseurs étrangers.

La grande variété de plastique (700 types existants) et l'évaluation de technologies de recyclage font que les activités de cette industrie sont en perpétuelle évolution.

Une première voie de valorisation de plastiques passe par la récupération d'énergie : le pouvoir calorifique des plastiques égale ou surpasse de charbon. C'est via l'incinération contrôlée que cette énergie peut être récupérée. La plupart du temps, les plastiques sont mélangés aux ordures ménagères : et l'incinération fournit de la chaleur et/ou de l'électricité.

Deux types de recyclage existent : recyclage mécanique et recyclage chimique.

Avant de recycler les plastiques, il est indispensable de les nettoyer pour éliminer les impuretés. Notons qu'une tonne de déchets plastiques à recycler ne donne pas 1 tonne de produit recyclé : il faut tenir compte d'une perte représentée par les étiquettes en papier ou plastique, des restes de liquides, etc.

En fonction de leur usage final et pour atteindre le degré de pureté requis, il faut mettre en œuvre des équipements mécaniques de séparation, de lavage et d'affinage (séparation par infrarouge, par caméra, par densité, par courants de Foucault...).

Les plastiques sont ensuite réduits sous forme de paillettes par des opérations de broyage. Enfin, des procédés spécifiques de plasturgie permettent de produire des matières premières recyclées.

C'est pourquoi nous retrouvons de nombreux objets neufs issus de plastiques recyclés.

\*\*\* Quelques chiffres

- 1 bouteille (PET) = 7 cartes à puces
- 2 bouteilles (PET) = 1 montre = 1 écharpe en laine polaire
- 27 bouteilles (PET) = 1 pull polaire
- 67 bouteilles (PET) = 1 couette à 2 places
- 11 bouteilles de lait (PEHD) = 1 arrosoir
- 12 bouteilles de boisson (PET) = 1 oreiller
- 200 flacons de produits d'entretien (PEHD) = 1 banc de trois places
- 1 tonne de plastique recyclé permet d'économiser 1 à 1.2 tonne de pétrole.

**5.1) Recyclage mécanique des plastiques :** c'est la transformation des déchets de matières plastiques en produits de matières plastiques par voie physique. Généralement, il s'agit de refusion et transformation de plastique pour fabriquer de nouveau des produits commerciabes.

Le déchet brut est trié, nettoyé et lavé puis extrudé pour donner naissance à des granulés qui représentent la matière première secondaire pour production de nouveaux plastiques. On estime entre 15 et 20% les déchets plastiques recyclés mécaniquement : ce chiffre pouvant être amélioré avec l'évolution de la collecte sélective.

Signalons aussi que lorsque des déchets plastiques de différents types sont mélangés, le recyclage rencontre des problèmes de compatibilités puisque les températures de transformation sont différentes. Le mélange de plusieurs plastiques entraîne une diminution de la qualité des caractéristiques mécanique du produit final.

Parmi les matières plastiques les plus connues qui trouvent une application secondaire par voie de recyclage mécanique, on peut citer les suivantes :

<i>Application primaire du plastique</i>	<i>Application secondaire après recyclage</i>
<p><b>Polyéthylène haute densité PEHD</b></p> <p>Bouteilles, bouchons, flacons, seaux, jouets, articles ménagers, réservoirs à carburant, tuyaux d'évacuation, feuilles pour sacs à ordures ménagères, caisses claire-voie...</p>	<p>Couvercles, fûts, paillettes, seaux, plaques, caisses à claire-voie, emballages et produits de remplacement du bois, sacs à usage industriel, conteneurs de déchets, flacons pour produits de nettoyage...</p>
<p><b>Polyéthylène base densité PEBD</b></p> <p>Feuilles d'emballage, films pour l'agriculture et l'horticulture, films extensibles, jouets, revêtement, tuyaux</p>	<p>Sacs à ordures ménagères, sacs publicitaires, films pour l'agriculture, films pour la construction, palettes, tuyaux, ...</p>
<p><b>Polystyrène PS</b></p> <p>Emballages à usage unique pour viande et charcuterie, glaces, et légumes, appareils électriques, gobelets à café, tasses et</p>	<p>Cintres, films, emballages, isolation, profilés, matériel électrique et électronique, ...</p>



assiettes, jouets...	
<p><b>Polypropylène PP</b></p> <p>Pots à yaourt, barquettes de beures, caisses à claire-voie, plats pour micro-ondes, emballages médicaux, pièces pour automobiles, tapis et fibres, pièces d'appareils électriques, meubles de jardin, bouchons de bouteilles et flacon, ...</p>	<p>Caisses à claire-voie, emballages pour des liquides techniques (peinture), pièces pour automobiles, châssis cachés, pièces pour matériel électrique, pièces de batteries pour automobiles, caisses à outils, mobilier de jardin, textile, bacs à fleurs, ...</p>
<p><b>Polystyrène expansé PSE</b></p> <p>Emballages divers : appareils ménagers et électroniques, instruments, alimentaires, restauration rapide, isolation thermique.</p>	<p>Pièces pour CD, pots de fleurs ornementaux, cintres, plaques d'isolation, emballages pour le transport, agglomérés légèrement isolants, substrat pour plantes...</p>
<p><b>Polyéthylène téréphtalate PETP / PET</b></p> <p>Bouteilles pour boissons gazeuses, emballages pour industrie alimentaire, vêtements.</p>	<p>Bouteilles, bourre pour anoraks, coussins et sacs de couchage, gants, pulls, laine polaire, corde, tapis, films, bandes d'emballage, ...</p>
<p><b>Polyuréthane PUR</b></p> <p>Mousse d'isolation, de confort pour coussins et matelas, appuie-tête, accoudoirs, éponge, mousses diverse.</p>	<p>Tatamis, couche sous-jacente de tapis, isolation acoustique, pièces pour automobiles, tapis pour bétail, mortier isolant, ...</p>
<p><b>Chlorure de polyvinyle PVC</b></p> <p>Profilés pour la construction, châssis de fenêtre, tuyaux d'évacuation, revêtements de sols, produits médicaux (ex : poches pour plasma sanguin), blisters, bouteilles, revêtements divers.</p>	<p>Revêtement de tuyaux, panneaux de façade, tuyaux, élément pour systèmes de stockage, revêtement de sol, grillage, rails, conteneurs, chaussures, mobilier de jardin, ...</p>

**5.2) Recyclage chimique des plastiques :** Le recyclage chimique ou chimiolyse est la transformation des déchets de matières plastiques en produits chimiques de base ou en monomères de matière plastique par voie chimique.

Le principe consiste à décomposer les macromolécules constitutives des polymères. Les matières plastiques sont dépolymérisées soit sous l'effet de la chaleur soit sous l'effet d'un composé chimique. Ces opérations, complexes, permettent de revenir au monomère de départ ou aux produits pétrochimiques de base. Pour recycler des polymères et leurs monomères, les procédés thermiques sont les seuls procédés envisageables.

Les déchets en mélange sont difficiles à traiter par ces procédés, étant donné les différences de composition.

Les techniques de recyclage chimique sont bien développées pour le PET (Polyéthylène téréphtalate), le polyamide et le polystyrène. Depuis quelques années, l'effort s'est porté sur le recyclage chimique du PVC qui représente un jeu majeur puisqu'il représente une part importante des déchets plastiques. Effectivement, les intérêts économiques influencent la recherche et le développement de recyclage des plastiques.

## **6) Recyclage du verre**

Le verre qui reste le meilleur emballage pour les produits alimentaires, les produits pharmaceutiques et les parfums, permet d'être un contenant sans goûts et sans odeur.

Après usage, le verre d'emballage est collecté puis transformé en calcin pour être recyclé dans les fours verriers, où il servira à produire de nouveaux emballages en verre.

Aujourd'hui, le taux de recyclage est de 75% (2007, éco-emballages).

Après le tri de l'habitant qui amène ses emballages en verre vers les récupérateurs, la collecte sélective du verre par les entreprises ou collectivités les convoient vers un centre de traitement.

De là, le verre brut part vers une usine verrière qui s'occupe de la fusion et de la fabrication de nouveaux emballages. Ensuite, les bouteilles neuves sont expédiées vers un centre

d'emballage pour être remplies et conditionnées (étiquettes, packaging) afin de rejoindre les réseaux de distribution dont le consommateur est le dernier de ce long cheminement.

Le centre de traitement, souvent rattaché à une verrerie industrielle, reste élément clef entre la collecte et l'usine verrière. Au sein de cette unité industrielle, s'opèrent différentes étapes avant d'obtenir du verre brut prêt à fondre.

## **6.1) Etapes de traitement de verre**

**\*\* Séparation du verre brut par criblage en différentes granulométries :** Cette étape va faciliter la suite du traitement où chaque classe granulométrique de verre sera triée individuellement sur des machines adaptées. Sur certains arrivages de produits bruts, un broyage pourra être utile afin d'obtenir la granulométrie désirée.

**\*\* Extraction des métaux ferreux :** Grâce à l'*overband*, (électro-aimant), les métaux ferreux sont extraits du produit criblé. Ainsi, sont isolés capsules, bouchons de bocaux ou pots, boîtes de conserve vides, armatures de fermetures de bocaux ... soit autant de traces de mauvais geste de tri.

**\*\* Extraction des métaux non-magnétiques :** Ils sont extraits grâce au principe du courant de Foucault : jupes aluminium des goulots de bouteilles, culots de filaments d'ampoules électriques, bouchons à vis de bouteilles, ...

**\*\* Elimination des corps légers :** Par des phénomènes d'aspiration : papiers, étiquettes, bouchons liège, capsules plastiques, ...

**\*\* Tri optique pour les infusibles et non-ferreux :** Cette technique complexe va permettre au verre d'être accepté et à d'autres matériaux (vaisselle en porcelaine, assiettes, tasses, terre cuite, céramique...) d'être écartés de ce tri. Ces matériaux, appelés infusibles dans le jargon des verriers, sont des éléments les plus difficiles à extraire, et ce sont eux qui perturbent le plus le raffinage du matériau brut.

Tout au long du processus, les éléments indésirables volumineux sont retirés manuellement : bouteilles plastiques, sacs plastiques, cagettes en bois, cartons, ... afin d'augmenter la qualité du produit trié. C'est à la fin de tout ce processus d'affinage, que l'on obtient le calcin, un produit prêt à être refondu dans les fours des verriers.

**\*\* Du calcin au verre neuf :** Le verre se cycle à l'infini.

Le calcin permet donc la fabrication de nouvelles bouteilles de couleur. Cependant, dans certains cas, un tri par couleur est effectué dans un centre : ce qui permettra d'avoir une matière première pour des bouteilles incolores.

D'abord stocké par catégories, et avant d'arriver aux fours de fusion, le calcin est additionné de silice, carbonate de soude, calcaire colorants éventuels.

Le verre est ensuite découpé en gouttes de verre ou paraison qui arrivent dans des moules ébaucheurs où est donnée la première forme par soufflage. Après, ce verre est transférée dans le moule finisseur où il prend sa forme définitive. La température est d'environ 700°C.

**\*\* Du calcin au verre neuf :** L'usine verrière a donc de nouveaux emballages en verre qui vont être acheminés vers des usines d'embouteillage (eau, jus de fruits, lait, ...) chargée de conditionner un liquide alimentaire pour être vendu via les réseaux de distribution.

**7) Recyclage du papier :** Le papier recyclé, devenu une nécessité pour préserver l'environnement, mais aussi et surtout pour valoriser ce type de déchet, voit depuis des années un avenir prometteur.

La fabrication du papier recyclé obéit aux grands principes de fabrication du papier : la matière première ne provient pas de la cellulose des arbres mais des gisements de papiers triés issus des habitants et entreprises.

Dans ses débuts, le papier recyclé avait mauvaise réputation avec sa couleur gris terne, et son peu de succès auprès du grand public.

Aujourd'hui, avec l'amélioration des techniques, l'augmentation du gisement de déchet, ainsi que le sentiment d'attachement à la protection de l'environnement.

Les papetiers se portent vers ces nouvelles productions. Le papier recyclé peut être utilisé pour la majorité des travaux d'impression ; les imprimeurs ont maintenant l'habitude de travailler avec ces papiers de plus en plus demandés.

**\*\* Du déchet vers la pâte à papier recyclé :** Après la collecte, suivi d'un tri, le papier recyclé est plus mis en balles ou vrac, les usines de recyclage réceptionnent ces matériaux. Après ouverture des balles, les vieux papiers (issus en général de journaux, magazines et cartons) sont triturés (déchiquetés) dans un pulpeur (cuve) avec de l'eau. Une longue étape de malaxage a donc lieu : elle va permettre de faire gonfler les fibres végétales (avec ajout d'hydroxyde de sodium) et de la séparer.

Les fibres devenues trop courtes sont écartées du circuit de fabrication de cette pâte. En effet, chaque fois que l'on recycle du papier, les fibres raccourcissent au fur et à mesure des processus elles baissent leur capacité à se lier, rendant le papier avec moins de force et d'élasticité. Pour chaque type de papier recyclé, la pâte est élaborée avec une proportion spécifique de fibres recyclées : jusqu'à 100% pour le carton ondulé, 80% pour le papier journal et moins de 10% pour les papiers spéciaux destinés aux arts graphiques (la tenue et la blancheur l'exigent).

Cette partie liquide riche en fibres est ensuite filtrée au moyen de cribles qui retiennent les résidus : c'est aussi là que l'on élimine les indésirables comme les colles, plastiques, agrafes, ... et autres impuretés. La pâte recyclée connaît l'étape du désencrage avec savon et oxygène. Le recyclage reste facultatif, mais il est possible de retirer l'encre de la pâte en lui faisant subir plusieurs nettoyages successifs, avec du savon, de l'air, voire des dissolvants chimiques. Ces opérations de lavage et de traitement n'utilisent très peu, voire pas d'eau.

La pâte ainsi obtenue est alors réintégrée dans le processus de fabrication du papier.

**\*\* Principe de la machine à papier :** Dans la machine à papier, la pâte arrive en tête dans la zone de formation de feuille.

En premier, la pâte subit un traitement mécanique à travers des appareils à disque mobiles (raffineurs) qui favorisent les liaisons entre les fibres afin de réaliser une feuille de papier homogène, la caisse de tête projette une pâte très diluée sur une toile synthétique poreuse ; l'eau sera ensuite en partie éliminée sur cette toile.

La feuille produite est ensuite pressée entre deux rouleaux (ou presse) de manière à extraire l'eau et densifier la feuille. L'étape suivante est le séchage : les cylindres chauffés à la vapeur permettent à la feuille de revenir à une humidité de 8%. Enfin, lorsque le papier convient aux caractéristiques recherchées, il est enroulé autour d'une bobine mère, ensuite découpée en bobines filles qui seront pressées, marquées, étiquetées et stockée en attente d'expédition vers les clients.

Aujourd'hui, plus du tiers de la pâte à papier produite est issue du recyclage (Ecofolio, en France), sachant qu'une fibre de papier peut être recyclée jusqu'à 5 fois.

Ainsi, la filière de papier recyclé produit des bobines qui seront exploitées par d'autres industries de transformations afin de recréer des emballages en carton ondulé : Cagette, bois, sacs, bag in box, ...

Une autre voie pour la pâte à papier recyclée est la fabrication du papier destiné à l'imprimerie autant pour les professionnels que les particuliers et entreprises, notamment avec le format A4 que nous connaissons tous au quotidien.

En effet, ce type de papier connaît de plus en plus de version en recyclé. Il en existe en couleur naturelle, parfois grisâtre mentionnés « non-blanchis » ; d'autres blanchis pour une apparence attrayante.

Les papetiers fabricants insistent sur le fait que ces industries jouent le jeu du recyclage avec des slogans tels que :

... est un papier issu des fibres de post-consommation, provenant notamment des déchets de fabrication des usines de papier ;

... papier non blanchis au Chlore et satisfaisant la norme DIN 6738 (Label européen garantissant l'aptitude du papier à l'archivage) ;

.... Papier 100% recyclé. 106 kg de vieux papier = 100 kg de papier recyclé.

**8) Recyclage du bois :** Le marché du bois recyclé connaît un essor considérable depuis quelques années. Le but du recyclage est de donner une deuxième, voire une troisième vie aux matériaux composés de bois.

Les déchets de bois proviennent de plusieurs sources :

- Exploitations forestières : les produits et sous-produits forestiers (haies, arbres, élagage, coupe, branchages) ;
- Scieries et industries de transformation du bois (sciures et chutes) ;
- Objets mis au rebut : bois de chantier, palettes, traverses de chemin de fer, ...
- Déchets des ménages : meubles, cagettes, mobiliers, bois contre collés, panneaux d'agglomérés, portes, ... Cette source est largement alimentée par les déchetteries et accessoirement par les centres de tri.

Parmi ces déchets de bois, on distingue trois catégories :

- liste verte. Classe A : copeaux, sciures, dosses, plaquettes, écorces, granulés, palettes ;
- liste orange. Classe B : bois traités peints ou vernis (hors métaux lourds), panneaux de particules en chute ou sciure, poutres, meubles, bois de démolition ;
- liste rouge. Classe C : bois traités avec métaux lourds (considérés comme DIS), bois de démolition traité, poteaux électriques, poteaux téléphoniques, traverses de chemin de fer.

Traditionnellement, les déchets sont expédiés vers des entreprises spécialisées en recyclage du bois. Dès son arrivée dans les installations de recyclage, le bois est trié selon sa qualité (bois traités ou non traités). Il est ensuite broyé puis débarrassé de ses résidus ferreux.

Les principales voies de recyclage sont :

- la valorisation thermique pour four, chaufferies industrielles ou communales ;
- la fabrication de panneaux de particules agglomérées pour l'industrie du meuble BTP ;
- plus rarement, les copeaux de bois peuvent être compostés ;
- le bois vert issus des coupes d'arbres, peut, quand à lui être dirigé vers les plates-formes de compostage ;
- la production d'éléments pour l'industrie du papier et ses dérivés.

Avec les échanges volumineux de marchandise à l'échelle de la planète, la logistique a su se développer, s'adapter se standardiser. Afin de transporter les marchandises en camion sur le territoire européen notamment, la palette est devenue un incontournable pour tous les secteurs d'activité. La palette Europe avec sa taille standardisée (800 x 1200 mm) est une des plus utilisée pour les échanges.

Le parc de palette bois estimé est de 250 à 300 millions d'unité, avec une durée de vie est estimé à 8-10 ans avec 3 à 4 rotations par an.

Les palettes peuvent être réutilisées lorsqu'elles sont intactes, ou réparées lorsque quelques éléments seulement sont endommagés. Lorsque leur répartition n'est plus économiquement rentable, les palettes sont valorisables énergétiquement en chaufferies bois, après broyage et déferrailage. Elles peuvent également servir à la fabrication de panneaux de particules.

## **9) Recyclage des déchets verts**

### **9.1) Le BRF : Bois Raméal Fragmenté :**

En plus du compostage que nous avons déjà abordé, il existe d'autres moyens de valoriser le bois issus des déchets et les déchets verts.

Concernant les déchets verts, une voie possible pour les branchages reste la fabrication du Bois Raméal Fragmenté (BRF). Seules les branches de petit diamètres (et jusqu'à 7 cm environ), sans feuillage, peuvent subir un broyage afin d'obtenir le BRF.

Ce procédé de fabrication peut se faire à grande échelle avec les moyens et surtout le broyeur (à couteaux ou marteaux).

## **10) Recyclage des métaux**

Depuis quelques années, les cours des métaux en général ont fortement augmenté, poussés par la demande mondiale croissante. C'est ainsi que de nombreuses entreprises se sont lancées ou ont accentué leurs activités de récupération et recyclage des métaux en tous genres.



En pratique, lorsqu'on évoque le recyclage des métaux, il est fait référence le plus souvent au recyclage de l'acier et de l'aluminium ; ce sont les deux produits généralement collectés auprès des habitants : les boîtes de conserve en acier (ou fer blanc) et canettes en aluminium.

Si l'on sort des collectes traditionnelles auprès des habitants, et que l'on se trouve vers l'industrie, il est possible de collecter d'autres produits métalliques qu'il est possible de recycler. Du plus commun comme le cuivre, il existe aussi des récupérations d'inox, de matériaux rares principalement issus des DEEE (déchet d'équipement électrique et électronique.).

Les terres rares (groupes de 17 métaux aux propriétés convoités comme le terbium, le néodyme ou l'erbium) deviennent aujourd'hui un enjeu stratégique d'avenir : la fabrication de produits des nouvelles technologies en nécessite de plus en plus. Par exemple, le gallium est utilisé pour les LED, l'indium entre dans la fabrication des écrans LCD (L'écran à cristaux liquides ou LCD).

Avec peu de gisements propres, le recyclage peut être un nouveau gisement secondaire de ces métaux.

Quelques chiffres

- ✓ 670 canettes d'aluminium pour fabriquer un vélo
- ✓ 19000 boîtes de conserve pour réaliser la carrosserie d'une voiture
- ✓ 50 kg de boîtes de conserve en acier sont produites par personne et par an
- ✓ Recycler 1 tonne de boîtes de conserve permet d'économiser : 2 tonnes de matières premières non renouvelables (minéral de fer, coke), 4 mois de consommation d'eau d'un habitant, 1 année de consommation d'énergie d'un habitant.

**10.1) Recyclage de l'aluminium :** Avec un gisement de 5000 tonnes d'emballage ménagers, le recyclage du matériau reste un enjeu pour les ressources naturelles. On retrouve cette aluminium dans des boîtes de boissons, boîtiers aérosols, barquettes, opercules, capsules, sachets de biscuits apéritif, emballage de chocolat, emballage de produits fromagers, tubes, emballages cosmétique...

C'est après la collecte et le tri à travers toutes les installations prévues à cet effet, que l'aluminium est capté en vue d'être recyclé. Notons que l'on peut récupérer l'aluminium à partir de mâchefers d'incinération.

On retrouve l'aluminium recyclé dans toutes les applications où l'on utilise l'aluminium extrait de la bauxite : nouveaux emballages, moteurs de voitures, capots de tondeuses à gazon, semelle de fers à repasser, radiateurs, mobiliers contemporain, ...

Ce métal se recycle indéfiniment. Plus de 50% de l'aluminium utilisé aujourd'hui provient du recyclage (le reste est extrait de l'industrie minière), ce qui permet d'économiser de l'énergie à hauteur de 95% par rapport à la production du métal première fusion. Rappelons que l'aluminium recyclé possède les mêmes propriétés que le métal primaire : c'est le matériau qui conserve le mieux sa valeur après usage.

Par rapport au coût de l'extraction de la bauxite puis transformation en aluminium, le recyclage de l'aluminium reste une opération économiquement intéressante.

**10.2) Recyclage de l'acier :** L'acier, métal ferreux formé d'un alliage de fer et de carbone (entre 1.5% et 3%) se recycle très bien.

La collecte des ferrailles et aciers usagés provient de l'industrie (déchet et chutes), des mâchefers d'incinération, des collectes sélectives, ... L'acier récupéré doit répondre à des exigences de qualité fixées par le Référentiel européen des ferrailles qui répartit 20 catégories selon leur origine et leurs caractéristiques.

Une tonne d'acier recyclé représente :

- ✓ 1.92 tonne de minéral de fer ;
- ✓ 0.63 tonne de coke (charbon)
- ✓ 11.57 m<sup>3</sup> d'eau
- ✓ 4.46 MWh soit 1.78 tonne d'équivalent CO<sub>2</sub> évitée.

L'acier recyclé est utilisé pour :

- ✓ Des emballages en acier (99% sont recyclés) ;
- ✓ L'industrie automobile (carrosseries) ;

- ✓ Les armoires de machines à laver ;
- ✓ Des pièces pour l'architecture ;
- ✓ Des armoires de rangements ;
- ✓ Des portes, etc.

**11) Recyclage des piles :** C'est après les centres de tri dédiés aux piles et accumulateurs que les matériaux partent en centre de recyclage en vue de leur valorisation.

Ce type de recyclage fait appel à des techniques spécifiques en fonction de la catégorie de piles à recycler.

Technique	Type de piles
Fusion	Piles et accumulateurs au plomb
Distillation	Piles boutons
Hydrométallurgie	Accumulateurs Ni-Cd et Li-ion
pyrométallurgie	Piles alcalines et salines  Piles lithium  Accumulateurs Ni-Cd et NiMH-ion

A l'issue des filières de recyclage, les matériaux issus des piles alcalines et salines ainsi que des accumulateurs sont envoyés vers des filières industrielles qui leur donneront une nouvelle vie :

- ✓ Le manganèse utilisé dans les peintures anti-rouille ;
- ✓ Le noir de carbone dans la fabrication des revêtements routiers ;
- ✓ Le mercure : il est redevenu aux producteurs de mercure pour des utilisations diverses, notamment dans l'industrie chimique ;
- ✓ L'acier permet de fabriquer, par exemple, des carrosseries de voiture ;
- ✓ Le zinc est réutilisé pour faire des gouttières pluviales ;
- ✓ Le plomb et le cadmium sont réemployés pour fabriquer de nouvelles batterie ;
- ✓ Le nickel, cuivre et cobalt : d'abord sous forme de fraction métalliques, ils serviront à fabriquer des métaux purs ou des oxydes (utilisés dans l'industrie, notamment dans la fabrication de piles neuves) ;

- ✓ Le cadmium : sous forme de boules ou baguettes, ce métal est réintroduit dans le circuit des matières premières pour l'industrie ; il servira de nouveau à la fabrication de nouveaux accumulateurs au nickel cadmium.

**\*\* La fusion pour les piles et accumulateurs au plomb :** Après broyage des batteries pour une séparation des matières (plomb et plastiques), le métal est envoyé dans un four dont il sortira, après affinage, des lingots de plomb titrés.

**\*\* La distillation pour les piles boutons :** Après un broyage cryogénique sous azote liquide afin d'éviter la vaporisation du mercure, l'amalgame obtenu subit ensuite une distillation. Les éléments métalliques sont séparés par voie magnétique, laissant un résidu de polymère.

**\*\* L'hydrométallurgie pour les piles alcalines et salines, les accumulateurs Ni-Cd et Li-ion :** Les piles et accumulateurs sont broyés pour en séparer les différents composés ; composés ferreux, non ferreux et papier/plastiques.

Les composés ferreux sont isolés pour être redirigés vers l'industrie métallurgique, les plastiques sont recyclés.

La fraction non ferreuse est soumise à un traitement physico-chimique acide pour séparer les éléments.

Cette technique hydrométallurgique tire son nom de l'utilisation d'acide liquide pour réaliser le traitement.

**\*\* La pyrométallurgie :** Elle est utilisée pour les piles alcalines et salines, les piles lithium et les accumulateurs Ni-Cd, NiMH et Li-ion.

Les piles ou accumulateurs sont introduits dans un four de fusion (450°C à 1500 °C). La séparation des métaux est réalisée par une réaction d'oxydo-réductio.

Exemple : pour 1000 kilos de piles alcalines et salines traitées, la pyrométallurgie permet d'obtenir :

- ✓ 350 kg de ferromanganèse utilisé dans la fabrication d'aciers inoxydables : couverts de table, bornes anti-stationnement, disques de frein de TGV, etc.

- ✓ 280 kg d'oxyde de zinc sous forme métallique (toiture, gouttières...), ou sous forme chlorure de zinc (utilisé dans la fabrication de piles salines) ;
- ✓ 190 kg de laitier valorisé comme matière minérale dans la fabrication de laine de roche, ou employé comme matériau de remblai.

**12) Recyclage des pneus :** Depuis longtemps le problème des pneus usés est apparu. Aujourd'hui, avec l'interdiction d'enfouir en décharge les pneus usagés, la collecte s'organise mieux en vue de valorisation et recyclage.

Pour valoriser ce produit, de multiples solutions sont envisagées :

- ✓ Le rechapage, surtout adapté aux pneus de poids lourds et d'engins de chantier, consiste à remplacer la bande de roulement usagée du pneu, afin qu'il recouvre sa qualité d'origine ;
- ✓ La granulation permet de fabriquer du granulats ou de la poudrette de caoutchouc utilisée dans la fabrication de pièces, de revêtement de sols sportifs et routiers, de produits d'étanchéités et d'isolation phonique, ...
- ✓ La valorisation énergétique : les vieux pneus sont utilisés comme combustibles de substitution, notamment dans les fours de cimenterie en tenant compte du haut pouvoir calorifique du caoutchouc. En effet, une tonne de pneus usagés équivaut à une tonne de charbon en contenu énergétique ;
- ✓ L'utilisation en tant qu'objet entier ou déchiqueté.

**12.1) Les pneus rechapés : une voie de recyclage importante :** Le rechapage est donc une technique de revalorisation des pneumatiques. Elle présente des avantages, elle permet :

- ✓ De multiplier la durée de vie d'un pneu par 3 (1 millions km pour un pneu de camion au lieu de 300 000 km)
- ✓ D'économiser des ressources : un pneu rechapé/regommé : seuls 7 litres de pétrole sont nécessaires au lieu de 35 pour la fabrication d'un pneu neuf. Il faut 84 litres pour fabriquer un seul pneu de camion ! Notons qu'un pneu usé (pneu lisse) n'a perdu en fait que 15% de sa gamme.

Chaque pneu rechapé est un pneu recyclé ! ce qui permet d'économiser plusieurs milliard de litres de pétrole et de millions de pneus poursuivent leur vie utile plutôt que de s'empiler dans des dépôts de pneus usés.

De nos jours, il y a aujourd'hui environ 1100 usines de rechapage à travers le monde.

Les pneus rechapés restent très utilisés pour les poids lourds(estimation de 50 à 60% du parc roulant), les particuliers sont des utilisateurs plus rares à les utiliser, avec un prix deux fois moins chers que des neufs.

L'industrie aéronautique utilise en masse ce type de pneus pour les flottes aériennes : environ 80% de tous les pneus des avions commerciaux actuellement en service aux Etats-unis sont rechapés. En 2000, uniquement sur l'exemple du Boeing 737, plus de 60 000 rechapés étaient utilisés, avec une moyenne de 270 décollage et atterrissage par rechapage.

#### La granulation

Elle permet de fabriquer du granulat ou de la poudre de caoutchouc utilisés dans la fabrication de pièces et produits divers, dont voici une liste non exhaustive.

<b>Thèmes</b>	<b>Produits</b>
Surfaces pour la pratique des sports	Terrains de jeux de maternelles et aires de loisirs, aires scolaires de pratique de sport, pistes d'athlétisme, terrain de tennis et de basket-ball, aires de départ pour le golf, ceintures de piscines et allées de jardin, aires pour jeu de boules, surface de quais antidérapantes pour bateaux.
Industrie automobile	Pare-chocs, matériaux de scellement et d'antirouille pour carrosseries d'auto, garde-boue et défenses, tapis pour auto et camion, garnitures de plancher pour camions et fourgonnettes, matériaux d'arrimage pour l'expédition, rechapage, panneaux d'insonorisation,...

Construction	Planchers d'hôpitaux, d'usines et de salles de bains, carreaux de sol, composés étanches à l'eau pour toiture et murs, imperméabilisation des fondations, garnitures pour barrage, silos et toitures, dos d'ânes, ...
Application géotechniques à l'asphalte	Asphalte caoutchouté pour routes et allées de garages, fondations pour pistes de courses de chevaux, drainage souterrain, conduits d'évacuation, conditionneurs de sol, agent filtrant pour le mercure et les surfaces métalliques, tuyaux d'irrigation poreux, construction et réparation des routes, plus d'adhérence, moins de bruit lié au roulement des pneus.
Adhésifs et produits de scellement	Adhésifs et mastic d'étanchéité, peintures texturées et antidérapantes, ingrédient de mélange (mastic) pour moulures et profilées en caoutchouc, composés pour la réparation des courroies de convoyeurs, composés de joints de dilatation, enduits et matériaux d'étanchéités à l'eau pour toitures,...
Produits d'amortissement	Tampons amortisseurs pour voies ferrées et machineries, murs de son pour routes, glissières de sécurité, garnitures d'abrasion dans l'équipement d'exploitation minière, plots de signalisation...
Produits de caoutchouc et de plastique	Isolant et garniture de tuyaux, plinthes et plaques de protection, pots de fleurs, poubelles, semelles et talons de chaussures, isolant de fil et de câble, pneus industriels et agricoles, tapis et planchers de grange, rouleaux et roues folles de convoyeur,

	mastic dans de nombreuses moules et de nombreux profilés en plastique, bacs à fleurs, garde-boue, ...
--	---

### **12.2) La valorisation énergétique**

Elle transforme les pneus, des dérivés du pétrole, en combustible industriel alternatif aux combustibles fossiles. Les pneus ont un pouvoir calorifique élevé : environ 24000 kJ/kg ; une tonne de pneus usagés équivaut à une tonne de charbon en contenu énergétique.

C'est pour cela que certaines industries, bien souvent les grandes cimenteries utilisent cette ressource comme combustible. Ce sont des fours spécialisés à combustion complète à haute température qui brûlent ce matériau carboné, ce qui permet de brûler jusqu'aux particules les plus toxiques qui ne se trouveront pas entraînés dans les fumées. En effet, un pneu qui brûle à faible température produit des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) très toxiques.

La valorisation énergétique en cimenteries et dans la sidérurgie est donc largement répandue. Cependant, la présence de métaux lourds dans les pneus et la technologie des installations existantes constituent des limites à cette filière, notamment en termes de pollution et d'impact environnemental.

### **12.3) L'utilisation du pneu en tant qu'objet entier ou déchiqueté**

La réutilisation de pneus entiers ou déchiquetés, permet, dans le domaine du génie civil la réalisation d'ouvrage de soutènement, de remblais allégés, ou de murs anti bruit (procédés PNEUSOL, PNEURESIL, PNEUTEX ...). En milieu agricole les pneus servent à la tenue des bâches d'ensilage, ils servent aussi sur les terrains de moto-cross,...

**13) Recyclage des DDE :** Le flux de DEEE est en forte croissance, ceci lié à la diversité des équipements et parfois leur faible durée de vie. Les éléments qui composent ces DEEE sont complexes et variés, avec des substances recyclables et d'autres toxiques.

Ces déchets bien triés et envoyés vers les bonnes filières permettent de disposer d'une source intéressante de matières premières secondaires. Le traitement des DEEE doit être économiquement optimisé pour garantir un coût de traitement intéressant et surtout un prix concurrentiel de ces matières recyclées par rapport à la matière première primaire.



### **13.1) Lampes et néons**

Le recyclage des lampes est efficace avec à plus de 90% de leur poids. Cela permet de récupérer plusieurs matériaux :

\*\* Le verre (88 %) qui constitue l'essentiel du poids des lampes, est la matière recyclable la plus importante.

Le verre des tubes fluorescents usagés permet de fabriquer des tubes fluorescents neufs.

\*\* Le verre des lampes usagées permet de fabriquer des abrasifs, des isolants pour le bâtiment,...

\*\* Les métaux (5%) : fer, aluminium, cuivre composent les contacts et culots de lampes.

Ils sont réutilisés dans des filières de fabrication de produits neufs.

\*\* Les plastiques (4%) : ils ne sont actuellement pas recyclés. Le peu de volume ne permet pas la mise en place d'une filière économiquement viable.

Ils sont souvent l'objet d'une valorisation énergétique par incinération.

\*\* Les poudres fluorescentes (3%) qui recouvrent l'intérieur des tubes fluorescents et de certaines lampes ne sont pas recyclables dans des conditions acceptables.

Constituées de terres rares (silicates, aluminates), elles doivent être stockées en centre de stockage des déchets ultimes (classe 1).

\*\* Le mercure (0.005%) est présent en quantité infime dans les poudres fluorescentes.

Il est neutralisé puis stocké en centre de stockage des déchets ultimes (classe 1).

### **13.2) Ordinateurs et téléphones portables**

Les ordinateurs et téléphones portables sont des appareils qui ont une durée de vie limitée, non par leur résistance au temps, mais plutôt liée à un phénomène de mode et d'évolution technologique.

Couplé au taux d'équipement grandissants, nous retrouvons confrontés à quantités importantes de ces produits électroniques.

### **\*\* Vers un recyclage de plus en plus performant**

Des procédés nouveaux émergent, comme terra nova qui a mis en place en 2010 un nouveau procédé de recyclage des cartes électroniques : extraction mécanique, du fer et de l'aluminium, puis pyrolyse de la résine époxy, et renvoi de l'agglomérat résiduel (cuivre et métaux précieux) vers des fonderies. Avec un marché européen estimé à 200000 tonnes de cartes électroniques par an, les capacités (130000 tonnes par an). Ainsi, le gisement de déchets informatiques devient une « mine urbaine » d'où l'on peut extraire une multitude de métaux.

L'intérêt du recyclage croissant de ces matières est aussi la réduction des gaz à effet de serre. Notons que seules les émissions liées à l'extraction des matériaux nécessaires pour les produits électroniques représenteraient 23 millions de tonnes, soit 0.1% des émissions mondiales de CO2.

Aussi le recyclage de ces déchets sur les lieux effectifs de consommation (Europe, Etats-Unis,...) éviterait l'export vers des pays du Sud, où ils sont généralement traités dans de mauvaises conditions sanitaires et environnementales.

## **14) Recyclages « originaux » pour un développement durable**

**14.1) Recyclage des plumes :** Cette filière plutôt discrète se modernise au fil du temps et de l'évolution de la filière avicole. C'est dans les années 1980 que les véritables évolutions de la filière sont notées : nutrition des palmipèdes, abattage, apparition de nouveaux systèmes de plumaison,...

Les industries de transformation de plumes travaillent avec deux types de produits :

Les plumes neuves : ce sont des plumes brutes prélevées directement sur les animaux lors de la plumaison.

Les plumes de récupération : elles sont issues d'articles de literie, de duvets, et autres articles à base de plumes. Cette production servait à pallier le manque de plumes neuves.

Les plumes issues des circuits neufs ou de récupération (articles à base de plumes), subissent différents traitements : triages, lavages, étuvages, stérilisation, dépoussiérages, et conditionnement.

Le résultat obtenu (plume, plumettes duveteuses et duvets) servira de garnissage pour divers produits.

La literie, important consommateur, permettra la fabrication d'oreillers, de traversains, de couettes et d'édredons.

L'ameublement utilise les plumes pour le garnissage de siège, les assises et dossiers (plumettes).

L'habillement utilise les duvets pour garnir les anoraks (doudounes), vestes et gilets, la concurrence et les produits de petite qualité substituent les plumes par de produits synthétiques.

Les sports de plein air restent un secteur en expansion dont les produits de qualité utilisent les plumes ; ce sont les sacs de couchage qui utilisent des garnissages de duvets. Quelques productions marginales de vestes de haute montagne utilisent les plumes.

L'industrie commence à produire des isolants à base de plumes.

**14.2) Recyclage du textile :** Les jeans, pantalons essentiellement fabriqués à base de fibre de cotons, ont connu une nouvelle voie, pour éviter leur envoi vers l'incinération.

L'isolant thermique et acoustique « Métisse » a vu le jour.

Au cours d'un processus industriel, les fibres de coton sont éclatées, mêlées avec des fibres de polyester (liant). L'ensemble est chauffé à 140 °C pour donner des panneaux ou rouleaux d'isolants prêts à l'emploi.

Le recyclage des jeans a en plus d'une dimension environnementale avec une très faible empreinte écologique (jusqu'à 100% de fibres recyclés), une vocation sociale avec notamment l'emploi des bénéficiaires vers la fondation Emmaüs.

**14.3) Recyclage des matelas :** Jusqu'à présent la très grande majorité des matelas était enfouis ou incinérée. ; le phénomène perdure largement.

La société recycle-Matelas a trouvé une solution novatrice, durable et écologique, lui permettant de recycler les vieux matelas pour ensuite isoler chaque composant.

Sachant qu'en moyenne, un matelas est composé de métal (48%), polyéther et polyuréthane (26%), feutre (7%) polyester (6%), bois (5%), coton (3%) ainsi que des éléments non-recyclables à hauteur de 5%, il est possible de valoriser ces produits. Ils peuvent surtout être réinjectés dans la production de nouveaux matelas, ce qui permet de réaliser des économies sur les achats de matière premières dont certaines ont subies une « flambée de prix » liée au cours du pétrole.

L'usine Ecoval de Flaviac (07) peut traiter environ 150 000 matelas par an, avec un potentiel de 470 000 matelas par an. il s'agit de « la première unité de fabrication au monde de matériaux éco-conçu pour l'industrie meuble ».

