

## CHAPITRE 1

### VALORISATION DES DECHETS INDUSTRIELS

#### 1.1 INTRODUCTION

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

L'industrie en Algérie a une part de responsabilité majeure dans la pollution globale du pays, notamment l'industrie pétrochimique, chimique, métallurgique et de traitement des minerais.

Certes, l'industrie de production reste un moteur essentiel de la croissance économique et de la compétitivité, mais il est également reconnu qu'une réduction de la pollution et l'utilisation rationnelle des ressources et de l'énergie, constituent des impératifs de développement durable et rendent fréquemment les coûts unitaires des produits moins élevés.

Les nuisances de l'industrie sur l'environnement sont :

- Emission de vaste quantité de polluants dans l'atmosphère (l'industrie du ciment en Algérie est le plus grand producteur de poussière 10 % environ de la quantité de ciment produite était rejetée dans l'atmosphère sous forme de poussière générant une pollution d'environ 600.000 tonnes/an de poussière de ciment).
- Production des déchets solides industriels (la production de la fonte dans les hauts fourneaux est accompagné par une production parallèle d'un sous produit solide (laitier du haut fourneau). Pour 1m<sup>3</sup> du métal en fusion environ 280 à 340 kg de laitier est produit. (Malhotra, 1987)
- Déversement dans les eaux des déchets toxiques et autres déchets organiques ainsi libérés dans la nature :
  - o Annuellement plus de 220 millions de m<sup>3</sup> d'eau usées chargés de : (plus de 55.000 tonnes de DB05, plus de 134.000 tonnes de matières en suspension et 8000 tonnes de matières azotées).

N'oublions pas les nuisances de l'industrie sur les ressources :

- L'exploitation des ressources naturelles telle que pratiquée actuellement n'est pas sans effets négatifs sur l'environnement :
  - o Cicatrices dans le paysage (carrières et mines).
  - o Destruction du patrimoine forestier.
  - o Sur exploitation des ressources (extraction abusive des sables de mer).

Face aux nuisances causées par l'industrie sur l'environnement, l'inquiétude ne cesse de grandir ; et notre domaine le génie civil est appelé à jouer un rôle important dans la protection de la nature et l'environnement par l'utilisation des déchets solides dans la fabrication des matériaux de construction (liants et bétons) et dans la réalisation des structures (remblais et les assises de chaussées, ...) afin de limiter l'exploitation excessive des ressources naturelles et de diminuer la pollution atmosphérique (en remplacement du ciment portland par les ajouts).

Il faut signaler ici que notre pays, depuis la première conférence mondiale sur l'environnement organisée à Stockholm en 1972 à pris progressivement conscience de la nécessité à intégrer la dimension environnementale dans la démarche de planification du développement et d'utilisation durable des ressources naturelles du pays. (Akli, 2000).

## **1.2 STRATEGIES DE TRAITEMENT DES DECHETS**

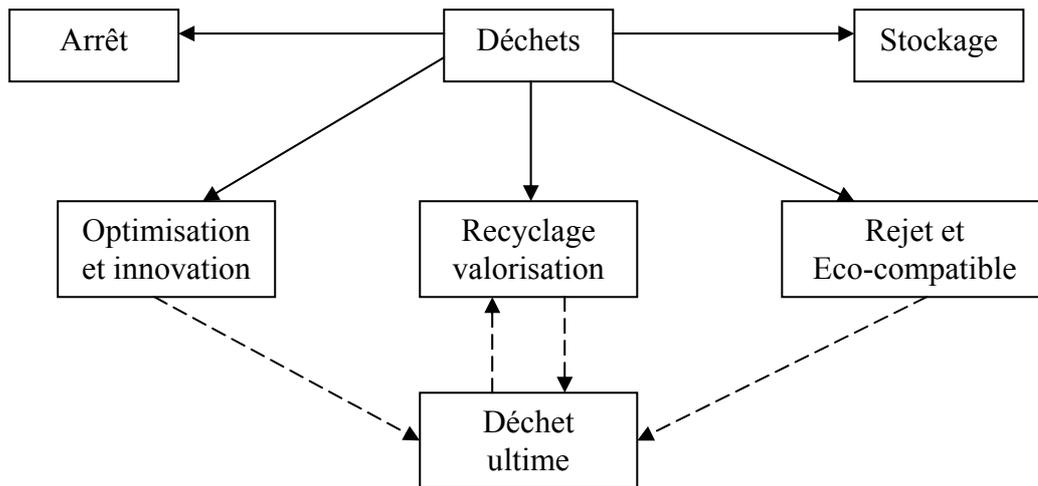
Malgré les quantités importantes des déchets dans notre pays qui atteignent actuellement 4.892.000 tonnes/an (dont 184.000 tonnes sont considérés dangereux et toxiques) une gestion des déchets solides n'est pas à l'heure actuelle développée. Quelquefois la récupération de certaines matières valorisables est pratiquée, mais la qualité reste très insuffisante.

La stratégie d'une bonne gestion des déchets s'appuie sur deux grands principes :

- Il faut prendre en compte simultanément les notions de matière, d'énergie, d'environnement et d'économie.
- Des lorsque ces stratégies ont pour objectif le retour des déchets dans le milieu naturel, il y a lieu de s'inspirer des lois qui régissent le fonctionnement de ce milieu.

Ces lois existent à travers les cycles bio-géochimiques qui régissent la circulation des éléments chimiques. (Boutemour et al,2002)

La gestion des déchets passe par cinq stratégies possibles qui sont représentés à la figure 1.1



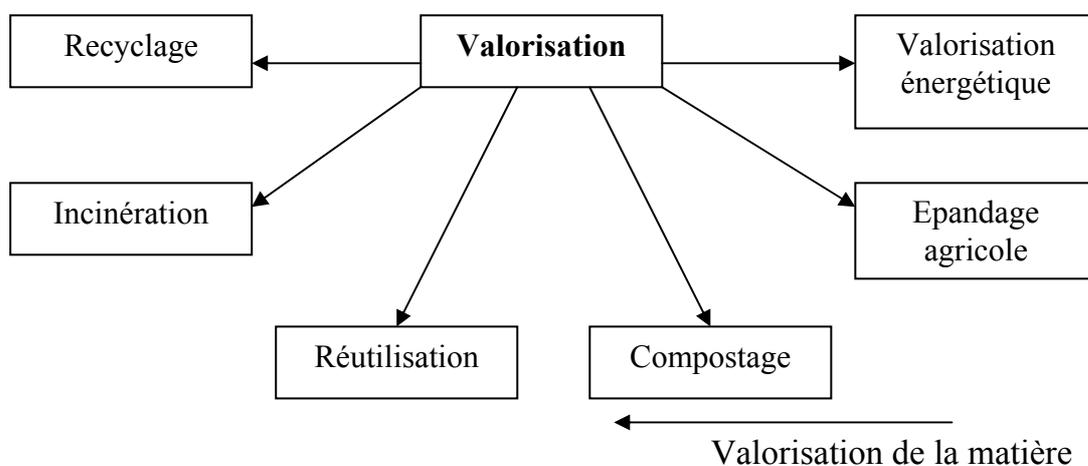
**Figure 1.1** : Stratégies de traitement des déchets. (Boutemeur et al, 2002)

Seules les stratégies de valorisation, de rejet éco-compatible et de stockage concernant directement la gestion des déchets. (Michel, 1981).

Leur mise en œuvre concrète passe par un certain nombre de filières techniques, elles articulent autour des objectifs généraux suivants :

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

Ces objectifs sont représentés à la figure 1.2.



**Figure 1.2** : Valorisation des déchets (Clastres, 2004).

### **I.3 DEFINITIONS**

On entend par :

**I.3.1 Déchet :** tout résidu d'une production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné.

**I.3.2 Récupération :** séparation de certains produits ou matériaux des déchets à des fins de réemploi de réutilisation et de recyclage.

**I.3.3 Recyclage :** réintroduction d'un matériau récupéré dans le cycle de production dont il est issu (même circuit de fabrication).

**I.3.4 Compostage :** Le procédé de traitement biologique de déchets et la transformation des constituants organiques d'un déchet en un produit stabilisé (compost).

**I.3.5 Incinération :** C'est un procédé thermique qui consiste à la destruction complète du déchet et sa transformation en éléments simples et inertes sous l'action d'une forte chaleur et de l'oxygène de l'air.

Il faut noter que les résidus solides de combustion (cendres, mâchefers...) représentent 25 % à 30 % du poids des déchets, ils sont valorisés tant qu'ajouts cimentaires.

**I.3.6 Valorisation :** tout traitement ou utilisation des déchets qui permet de leur trouver un débouché ayant une valeur économique positive. Le terme général valorisation englobe réemploi recyclage et réutilisation.

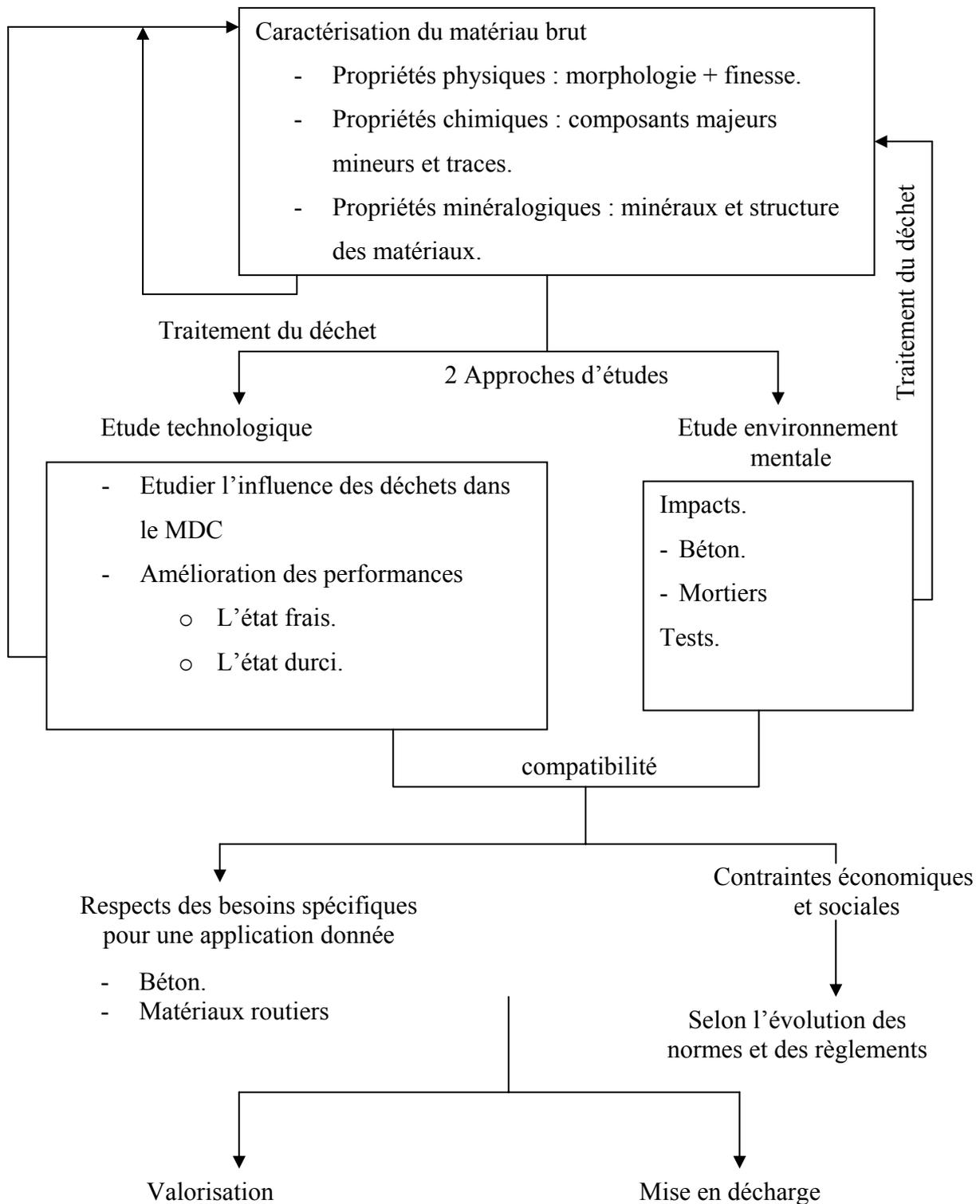
### **I.4 POURQUOI VALORISER ?**

L'intérêt qui est porté de plus en plus à la valorisation des déchets et des sous produits industriels est lié à la fois à la crise de l'énergie, à la diminution des ressources mondiales en matières premières et enfin la législation qui devient très sévère concernant la protection de la nature et l'environnement. Les arguments peuvent être résumés en :

- Augmentation de la production.
- Le coût de stockage ou de traitement est de plus en plus élevé.
- Une législation de plus en plus sévère.
- Une meilleure gestion de la recherche.

## I.5 METHODOLOGIE D'ETUDE

Lorsqu'on souhaite inventorier toutes les possibilités de traitement qui peuvent être utilisées pour un déchet donné, on peut adopter la démarche (méthodologie d'étude) suivante :  
Proposée par (Clastres, 2004).

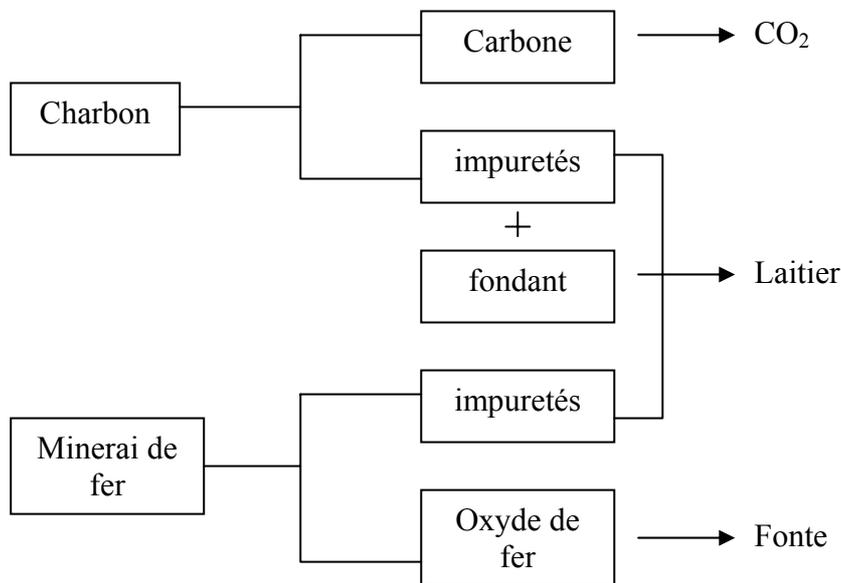


**Figure 1.3** : Méthodologie d'étude (Clastres, 2004).

## I.6 PRESENTATION DU SOUS PRODUIT : LE LAITIER DU HAUT FOURNEAU

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

Ils sont formés par la majeure partie de la gangue du minerai de fer et par la majeure partie des impuretés du coke et des fondants ajoutés, ce qui est illustré à la figure 1.4 :



**Figure 1.4** : représentation schématique de la production de laitier du haut fourneau.

(Aitcin,2001 )

Les minerais de fer sont des roches sédimentaires qui contiennent une forte proportion d'oxyde de fer, mélangés à d'autres éléments minéralogiques extrêmement divers, mais dans lesquels dominent toujours où bien des roches siliceuses, où bien des roches calcaires, en outre très fréquemment de l'alumine où de la manganèse, sous forme diverses, sont associées à la silice et à la chaux dans la gangue des minerais, d'où le laitier obtenu est composé de silicates et aluminates de chaux et d'autres bases.

En fusion, (vers 1500°C) la partie inférieure du haut fourneau, recueille deux liquides :

- La fonte plus lourde (densité : 7).
- Le laitier, plus léger surnageant la fonte (densité 2,7 à 2,8).

A la sortie du haut fourneau, le laitier peut être traité de différentes façons :

### 1.6.1 Refroidissent rapide à l'eau

C'est la granulation du laitier : qui consiste à mettre brusquement le laitier liquide, en contact avec l'eau, afin de conserver le laitier à l'état vitreux (la cristallisation des laitier commence en effet vers 800 – 850°C).

On fait tomber le courant du laitier sortant du haut fourneau sur une forte arrivée d'eau, la masse du laitier se divise en grains d'un diamètre allant jusqu'à 5 mm environ et qui se solidifient aussitôt (il faut 3 à 10 m<sup>3</sup> d'eau pour granulé une tonne de laitier). Le laitier perd une partie de son eau (qui peut atteindre 30 %) dans les bassins à fonts filtrants, puis il est repris pour être stocké.

Le laitier granulé se présente donc sous la forme de petits grains arrondis assez légers (densité apparente s'échelonne de 0,7 à 1,4) poreux de couleur terne (grisâtre ou jaunâtre selon les laitiers). Il est une sorte de verre (la teneur de verre dépasse les 90 % et atteint parfois 100 %), se qui est illustré à la figure 1.5.

La granulation à l'eau de mer est possible (mais les laitiers contiennent alors un peu de sel). (Venuat, 1984) et (Venuat, 1989)



**Figure 1.5** : Le laitier granulé.

### **1.6.2 Refroidissement rapide à l'air et à l'eau**

C'est le bouletage : qui consiste à cisailer une nappe de laitier par des jets d'eau et à projeter le mélange obtenu dans l'air par centrifugation sur un tambour tournant (0,6 à 1 m<sup>3</sup> d'eau par tonne de laitier).

Les grains obtenus ont une granulométrie qui s'échelonne de 1 à 25 mm. Les grains inférieurs à 3mm sont presque entièrement vitreux. Les gros grains, légers, ont un cœur plus au moins cristallisé.

Les masses volumiques apparentes varient suivant la granulométrie de 750 à 1000 kg/m<sup>3</sup>.

### **1.6.3 Refroidissement lent à l'air**

Le laitier liquide contenu dans des poches de 8 à 10 m<sup>3</sup> est déversé en couches parallèles de 5 à 10 cm d'épaisseur (hauteur de 2 à 3 m), il se refroidi lentement et se

crystallise formant des blocs prêts au concassage à la granulométrie voulue. Une fois concassé, il constitue un granulat artificiel dont les caractéristiques sont importantes.

Un tel laitier est représenté à la figure 1.6.



**Figure 1.6 :** Le laitier cristallisé . (a : roche) et (b : concassée).

## **I.7 VALORISATION DU LAITIER DU HAUT FOURNEAU**

La composition et la structure physique du laitier du haut fourneau varient énormément en fonction des procédés et des méthodes de refroidissement appliqués au laitier ; selon ces procédés on obtient le laitier granulé, bouleté et cristallisé.

Chaque variété trouve des débouchés intéressants.

### **I.7.1 En cimenterie**

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

Le laitier peut produire un liant hydraulique de plusieurs façons. Premièrement, il peut être mélangé à du calcaire et être utilisé comme matière première pour produire du ciment Portland par le procédé à sec. Le clinker obtenu à partir de ces matériaux est souvent utilisé avec le laitier dans la fabrication du ciment portland au laitier.

Cette utilisation du laitier est économique (car la chaux est présentée sous forme de CaO de sorte que l'on n'a plus à fournir l'énergie nécessaire pour la décarbonatation. (Neville, 2000).

Deuxièmement, dans la plupart des pays, le laitier granulé et broyé est utilisé dans le ciment portland comme ajout pour fabriquer des ciments portland au laitier.

Troisièmement, le laitier du haut fourneau granulé broyé à une finesse appropriée peut être utilisé seul comme liant mais en présence d'un catalyseur à base d'alcalis<sup>1</sup>.

### **I.7.2 Pour la confection des bétons**

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

De même le laitier granulé entre dans la confection des bétons légers (bétons cellulaires), et les briques de laitiers. (Venuat, 1989).

### **I.7.3 Pour les travaux routiers**

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

## **I.8 Valorisation du laitier en Algérie**

L'utilisation des produits de laitier en Algérie est limitée à quelques rares applications malgré sa production progressante (500.000 tonnes/an). (Behim, 2003)

En cimenterie, il entre comme un ajout secondaire ne dépassant pas 20 % (cette substitution est faite seulement dans quelques cimenteries). (Nacéri, 2005)

Et en travaux routiers : A titre d'exemple, le laitier granulé a trouvé une utilisation dans la réalisation de la liaison autoroutière Annaba – Berrahal, où la couche de fondation été réalisée par une grave laitier tout laitier.

Des études intéressantes et récentes ont montré la possibilité d'utiliser les laitiers Algériens (d'El-hadjar) pour :

- La fabrication des briques silico calcaires à base du laitier. (Arabi, 1996)
- La fabrication du béton cellulaire autoclavé. (Belouettar, 2003)
- La fabrication d'un ciment de laitier activé sans clinker. (Mezghiche, 1989)

## **1.9 Conclusion**

La voie reste ouverte, à d'autres utilisations et possibilités, permettant ainsi d'élargir la gamme des matériaux de construction, de réduire les déchets à la source et de développer l'utilisation des matériaux recyclés dans les chantiers.

---

<sup>1</sup> ce point sera détaillé dans le chapitre 2.