

Situation des déchets dans les pays en développement et enjeux de leur caractérisation

■ S. BEN AMMAR¹, B. FOULLY²

Mots-clés : caractérisation des déchets, collectes sélectives, compostage, décharge contrôlée, démarche expérimentale, incinération, pays en développement

Introduction

La question de la gestion des déchets dans les pays en développement (PED) peut paraître de prime abord moins problématique que la plupart des autres problèmes environnementaux, tels que la pollution des eaux ou de l'air. En ce qui concerne les déchets ménagers, les solutions de collecte et de traitement peuvent sembler évidentes : il suffit de les transporter avec des camions jusqu'à des lieux de traitement par mise en décharge, incinération ou compostage.

Pourtant, il suffit de constater le grand nombre de projets ayant subi des échecs depuis plus de 30 ans, pour admettre l'envergure des problèmes et des difficultés rencontrés en ce domaine dans les PED. Dans cet article, nous examinons la situation des déchets dans les pays en développement à partir de l'analyse de la collecte et du transfert d'une part, et du traitement et de la valorisation d'autre part. Les principaux systèmes de traitement et leurs limites (décharge contrôlée, compostage, incinération, collectes sélectives et recyclage) sont décrits et analysés à partir de cas particuliers rencontrés dans les PED.

1. Description de la situation des déchets dans les pays en développement

1.1. La collecte et le transfert

La collecte et le transfert constituent la partie la plus visible du système de gestion des déchets solides pour

la population en milieu urbain. Ils absorbent une part considérable des budgets municipaux. Dans les pays industrialisés, les frais de collecte représentent 60 à 70 % du total des dépenses, alors que cette proportion dépasse les 70 % dans les pays en développement. Au Maroc, elle varie entre 70 et 90 % de l'ensemble des frais de gestion des déchets solides [1]. En raison de l'hétérogénéité des espaces urbains, les systèmes de collecte dans les PED varient du porte-à-porte à la collecte par quartier au moyen de conteneurs, la pré-collecte étant alors assurée par les habitants. En conséquence, les véhicules de collecte utilisés par les communes pour le ramassage des ordures ménagères sont très variés : camions, bennes tasseuses, tracteurs, charrettes à mulets ou à bras [2]. Le taux de collecte des déchets est rarement performant, si ce n'est dans certains quartiers privilégiés (centres commerciaux, zones touristiques, quartiers résidentiels de haut standing). Il varie généralement de 50 à 70 %, mais il est beaucoup plus faible dans les quartiers populaires. Dans ces cas-là, il n'est pas rare de voir les habitants déposer leurs ordures dans les drains et les caniveaux ou dans les terrains vagues, provoquant ainsi l'obstruction des canalisations ou la création de dépôts sauvages.

Par ailleurs, les services de collecte sont en général inefficaces, en raison principalement de l'état vétuste du matériel et des déficiences de l'entretien. Le taux d'immobilisation des véhicules peut atteindre ou même dépasser 50 %, comme c'est le cas en Algérie [3].

1.2. Le traitement et la valorisation

Dans les pays en développement, les déchets sont généralement déversés dans des décharges brutes (qui

1 Technopôle de Borj Cedria - BP 95 - 2050 Hammam-Lif - Tunis (Tunisie).

2 Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) - 27 rue Louis Vicat - 75737 Paris cedex 15.

sont, la plupart du temps, des terrains vagues ou d'anciennes carrières situés aux limites extérieures de la ville) ou, tout simplement, rejetés dans le milieu naturel avoisinant (rivières, oueds, lacs, etc.). Ces décharges sont le plus souvent à ciel ouvert ou, dans le meilleur des cas, recouvertes de sable. Il en résulte des nuisances et une dégradation de la situation sanitaire dont les meilleurs indicateurs sont le retour des maladies contagieuses et la prolifération des foyers endémiques. Cette pollution est d'autant plus inquiétante que les déchets ne sont pas seulement d'origine domestique mais également d'origine industrielle et hospitalière et de composition souvent inconnue.

Pour remédier à cet état d'insalubrité, la recherche d'alternatives à la décharge brute s'impose. Pour cela, diverses techniques de traitement existent, dont les principales sont :

- la mise en décharge contrôlée,
- l'incinération,
- le compostage,
- les collectes sélectives et le recyclage.

Toutes ces techniques de traitement représentent des coûts importants, en investissement puis en fonctionnement, comparés au coût de la décharge brute.

Depuis les années 1980-90, les bailleurs de fonds internationaux ont financé de grands projets, basés sur les techniques de décharge contrôlée, de compostage ou d'incinération et qui ont abouti à des implantations dans un certain nombre de grandes villes des PED.

Cependant, ces projets, appuyés par le démarchage commercial de sociétés occidentales, proposant des matériels et des services « clés en main » sont mis en œuvre selon les standards des pays industrialisés et s'avèrent, le plus souvent, inadaptés aux contextes techniques, économiques et financiers locaux.

2. Bilans et analyses des problèmes

2.1. Cas de la collecte des déchets

Malgré l'existence d'un service incomplet de collecte, ne desservant qu'une partie de la population et ignorant le plus souvent les quartiers populaires à faibles revenus, ce service entraîne presque toujours de lourdes charges budgétaires déficitaires, difficilement supportables par les collectivités locales.

L'introduction systématique d'équipements à la mécanique complexe, tels que les bennes compactrices (ou tasseuses), pose la question de leur efficacité et de leur adaptation aux contraintes locales. Ces bennes, dont le rôle est de réduire le volume des déchets, ne peuvent être utiles que dans les régions où les déchets sont composés majoritairement de matériaux de faibles densités comme les papiers et les plastiques.

Dans les pays en développement, les déchets sont caractérisés par une faible teneur en produits compressibles (emballages en particulier, ne dépassant généralement pas les 15-20 %) et une très grande part de matières putrescibles avec des humidités très élevées. La densité de ces déchets est par conséquent très élevée (0,5 à 0,7), ce qui ne justifie pas leur compactage ou, tout du moins, se traduira par une efficacité marginale du tassement par la benne.

Dans les bennes tasseuses, la compaction ne réduit donc pas de façon significative le volume des ordures. En revanche, elle provoque un problème ignoré ou non résolu d'égouttage des déchets fortement humides. En l'absence de bacs de récupération, des écoulements d'eaux polluées et nauséabondes se répandent sur le trajet des bennes.

Par ailleurs, la mécanisation complexe des bennes tasseuses exige un entretien régulier et coûteux, ce qui est difficilement maîtrisé par les communes.

2.2. Cas du traitement par la mise en décharge

Dans les pays en développement, la décharge contrôlée est, à l'heure actuelle, considérée comme la technique de traitement la plus facilement maîtrisable et la moins coûteuse. Dans plusieurs pays, des projets de décharges sont programmés, en cours d'implantation ou déjà réalisés. On peut citer en exemples :

- l'Algérie, avec 48 décharges programmées [3] : 10 sont déjà réalisées mais non encore fonctionnelles et 17 en cours d'achèvement ; à l'heure actuelle, seule la décharge d'Alger est opérationnelle ;
- la Tunisie, avec 29 décharges programmées [4] : 4 sont réalisées et opérationnelles, dont la décharge du Grand Tunis, 9 sont en cours d'achèvement et 16 sont planifiées ;

- le Maroc, avec 4 décharges programmées [5] : à l'heure actuelle, seule la décharge d'Essaouira est opérationnelle ;

- la Palestine, avec 4 décharges programmées [6] : seule la décharge de Gaza est actuellement opérationnelle.

Tous ces projets de décharges sont généralement basés sur des acquis technologiques, des critères de fonctionnement et des contextes climatiques bien particuliers (car propres aux pays développés). Ce qui est à l'origine de grandes difficultés de fonctionnement et de coûts très différents de ce qui avait été prévu lors de la conception des projets.

2.2.1. Problèmes rencontrés à travers quelques cas de décharges contrôlées

• Cas de la décharge du Grand-Tunis (Tunisie)

La décharge contrôlée des déchets ménagers et assimilés du Grand Tunis, située à Borj Chékir (à 10 km au sud-ouest de Tunis) a été créée en mai 1999 pour remplacer les deux décharges brutes de H. Lihoudia et de Raoued (qui ont fonctionné pendant près de 50 ans). Cette décharge s'étend sur 47 hectares (sur une réserve foncière totale de 124 ha). Elle a une capacité d'accueil de 2 000 tonnes par jour, soit près de 700 000 tonnes par an.

Ayant bénéficié d'études détaillées et de techniques de construction et de gestion modernes, la décharge de Borj Chékir est considérée comme un modèle à suivre pour tous les pays de la région. En effet, elle a été conçue et équipée selon les normes européennes avec :

- un fond imperméable,
- des canalisations de drainage des lixiviats,
- un remplissage en casiers,
- une couverture quotidienne et intermédiaire des déchets,
- une collecte du biogaz et sa combustion en torchère,
- un pont bascule,
- une clôture, etc.

Cependant, dès les premiers mois de son exploitation, des difficultés de fonctionnement sont apparues [7] :

- manque d'entretien et difficultés d'usage des engins mécaniques,
- manque de pièces détachées et d'outils,
- défoncement des voies goudronnées,
- détérioration de la rampe d'accès au pont-bascule,

- obturation des canaux et détérioration des rigoles en béton,

- absence d'installation de dégazage,
- débordement du bassin de retenue des lixiviats,
- absence d'équipements de sécurité,
- présence de récupérateurs sur la décharge.

Avec le temps, les difficultés d'exploitation se sont amplifiées. La situation actuelle de la décharge, six années après sa mise en fonction, est alarmante avec :

- de grandes difficultés de tassement et l'enlèvement des engins dans les ordures humides,
- de grandes carences en matériaux de recouvrement,
- un dégazage impossible, vu l'obturation par les déchets des buses construites pour l'évacuation du biogaz,
- un matériel fréquemment en panne et actuellement hors d'usage,
- des feux spontanés dans la masse des déchets,
- plus de 250 000 m³ de lixiviats stockés sur le site de la décharge sans aucun traitement,

En vue de régler provisoirement ce problème, de nombreuses lagunes ont dû être créées sur plusieurs hectares, pour le stockage des lixiviats.

• Cas de la décharge de Gaza (Palestine)

La décharge contrôlée des déchets ménagers de Gaza a une capacité annuelle de 89 000 tonnes. Elle a été créée en 1997 dans le cadre de la coopération allemande selon les techniques de construction et de gestion européennes :

- une étanchéisation du fond de la décharge,
- un système de drainage des lixiviats vers un bassin de récupération,
- un pont bascule, une clôture, etc.

Le drainage et la collecte du biogaz n'ont pas été envisagés car considérés comme non économiques. Pour le traitement des lixiviats, un système de pompage et d'aspersion a été conçu en vue d'une recirculation des lixiviats sur la décharge. Les quantités de lixiviats prévues étaient alors considérées comme non importantes en raison des faibles précipitations (entre 200 à 450 mm/an).

Cependant, des comportements « inattendus », très différents de ce qui avait été prévu, ont été observés dès la première année d'exploitation de la décharge [8] :

- les productions annuelles de lixiviats sont de 9 600 m³, soit cinq fois plus que prévu ;
- les productions de lixiviats durant la saison sèche sont importantes (25,4 m³/jour), alors que l'on ne prévoyait pas de lixiviats en l'absence des pluies ;
- l'évaporation des lixiviats, par re-circulation sur la décharge, ne parvient pas à fonctionner même en saison sèche.

2.2.2. Analyse des problèmes

Contrairement à la décharge brute, la décharge contrôlée doit répondre à un certain nombre d'impératifs concernant l'hygiène et la protection de l'environnement, dont les plus importants sont, d'une part la protection des nappes d'eaux souterraines, des lixiviats drainés à travers la masse des déchets, par un fond imperméable (soit naturel, soit artificiel) et, d'autre part le drainage et le traitement des biogaz afin d'éviter les nuisances et la dispersion des gaz à effet de serre.

À partir du moment où un fond imperméable existe, la véritable complexité du fonctionnement de la décharge de type « PED » apparaît en raison de la composition organique des déchets et de l'importante teneur en eau qui en découle. Ces particularités, ainsi que la climatologie, influent spécifiquement sur les différents paramètres d'exploitation de la décharge, tels que :

- les taux de compactage,
- l'épaisseur des couches de mise en dépôt et les modalités de gestion,
- la durée minimale avant le recouvrement,
- la composition quantitative et qualitative, la diffusion et le traitement des lixiviats,
- la composition quantitative et qualitative du biogaz, son captage et son traitement.

Ces principaux paramètres d'exploitation de la décharge contrôlée doivent être impérativement connus et maîtrisés avant la conception du site. Cependant, dans les PED, rares (si ce n'est inexistantes) sont les décharges contrôlées dont les paramètres sont entièrement connus et maîtrisés. La plupart du temps, les projets de décharge sont basés sur des critères de fonctionnement propres aux pays développés, ce qui a pour conséquence des comportements « inattendus », très différents de ce qui a été prévu lors des conceptions initiales.

Les cas particuliers des décharges de Borj Chékir (Tunisie) et de Gaza (Palestine), présentés dans le paragraphe précédent, mettent en évidence l'importance de l'écart existant entre ces comportements « inattendus » et ce qui avait été prévu au départ :

- une production de lixiviats beaucoup plus importante que prévu (six fois plus dans le cas de Tunis et cinq fois plus dans le cas de Gaza),
- un traitement des lixiviats inopérant,
- un compactage inefficace,
- un captage de biogaz défaillant.

Ce qui remet en cause la viabilité technique et économique du choix de la décharge.

2.3. Cas du traitement par compostage

Compte tenu de l'importance de la fraction organique contenue dans les déchets, de leur humidité et du grand besoin des sols pauvres et dégradés en matière organique, le compostage constitue, *a priori*, une solution adéquate et d'un intérêt majeur pour les pays en développement.

Au cours des années 1960-1985, plus d'une centaine d'installations de compostage ont été construites dans de nombreux pays du Sud (Inde, Chine, Indonésie, Brésil, Colombie, Côte d'Ivoire, etc.) et en particulier dans quasiment tous les pays de la Méditerranée. Cependant, la plupart de ces installations sont actuellement arrêtées et rares sont celles encore en activité ou seulement en activité réduite [9].

2.3.1. Problèmes rencontrés à travers quelques projets de compostage

■ Échec du compostage à travers le cas du Maroc

Depuis les années 1970, cinq unités de compostage ont été construites au Maroc. Il s'agit de grandes unités industrielles qui ont été conçues, mises en place et financées grâce à des organismes étrangers de développement (*tableau I*).

Mis à part l'installation de Rabat-Salé, qui a été arrêtée récemment, aucune unité de traitement n'a fonctionné pendant plus de six ans [5].

Toutes ces unités, celle de Rabat comprise, ont connu de sérieux problèmes techniques et financiers [1], en particulier :

- des pannes fréquentes,
- le colmatage des équipements,

Ville	Année de mise en service	Capacité nominale (tonnes/jour)	Gestionnaire	Année d'arrêt de fonctionnement
Rabat	1971	180	Municipalité puis RED*	2000
Tétouan	1964	50	Municipalité	Non mis en service
Marrakech	1976	140	Municipalité	1980
Meknès	1980	200	Municipalité	1986
Casablanca	1975	700	Municipalité	1975

*RED : Régie d'électricité et de distribution d'eau

Tableau I. Bilan des installations de compostage au Maroc [5]

- le sous-dimensionnement des fosses de réception et des surfaces nécessaires à la fermentation,
- un compost de mauvaise qualité (présence de contaminants),
- des difficultés de commercialisation du compost,
- d'importantes nuisances environnementales (mauvaises odeurs).

■ Exemple de procédés industriels « clés en mains » à travers le cas de l'offre de Sousse (Tunisie)

Les installations de compostage implantées dans les pays en développement reposent généralement sur des technologies importées « clés en main » sophistiquées et très coûteuses, d'où l'échec constaté que nous avons décrit à travers le cas du Maroc.

Le cas particulier de l'offre de l'usine de Sousse (ville à 140 km au sud de Tunis), présenté ci-après, illustre les principales caractéristiques technico-économiques de telles propositions.

Cette offre, négociée entre 1998 et 2000, est basée sur un procédé « en tunnel » de capacité 150 tonnes/jour. Elle fait apparaître les éléments suivants qui s'avèrent inadaptés, tant du point de vue technologique et économique, que du point de vue de la prise en compte des contraintes de la gestion des déchets [10, 11, 12] :

- un investissement très coûteux, soit 14,7 millions de dinars HT (10 millions d'euros),
- une technologie sophistiquée avec contrôle automatisé de la fermentation et une logique de traitement inefficace et inadaptée comportant deux broyeurs en tête,

- un coût de traitement et de production très élevé, soit 200 dinars la tonne de compost (125 euros/tonne),
- l'absence de la caractérisation des déchets,
- l'obligation de mise en place d'un système de collecte sélective,
- l'absence d'étude de marché.

■ Exemple de procédés dits « adaptés » à travers le cas de la station pilote de Béja (Tunisie)

Étant donné l'échec du compostage à l'échelle industrielle, des procédés artisanaux dits « adaptés » sont désormais promus par des institutions de développement, dans le cadre des projets de coopération internationale. La « haute intensité de la main d'œuvre » est le motif d'adaptation au contraire de la « haute intensité capitalistique ».

En réalité, ces procédés basés sur la main d'œuvre ne peuvent être transposables à l'échelle industrielle. Par ailleurs, ils sont souvent inefficaces et n'ont fait l'objet d'aucun effort de conception, comme le met particulièrement en évidence le cas particulier de la station pilote de Béja (ville du nord, à 100 km au nord-ouest de Tunis), présenté ci-après.

La station pilote de compostage des déchets ménagers de Béja (de capacité 1 000t/an) a été créée en 1995 dans le cadre du projet de coopération avec l'Allemagne « Gestion des déchets solides dans les 11 villes de la vallée de la Medjerda » et qui vise la sauvegarde des ressources en eau du bassin versant de la Medjerda. Ce projet sur financement tuniso-allemand (prêt de la banque KFW) est géré par le ministère de l'Environnement tunisien et bénéficie d'une mission de conception et d'assistance technique fournie par

la GTZ, entreprise fédérale de coopération internationale.

- Les difficultés de fonctionnement de la station

Bien que le procédé ait nécessité plusieurs années de mise au point, de 1995 à 2000, de nombreuses difficultés sont apparues au niveau du process, de l'exploitation et de la commercialisation du compost [13]. Ces difficultés se sont traduites en particulier par un faible taux d'extraction de la matière organique, une faible production (seulement 100 tonnes/an), des nuisances olfactives et l'absence de marché pour le compost.

- Les résultats de l'expertise du procédé

L'expertise d'une installation de compostage sur la base d'un protocole expérimental est la seule manière de juger objectivement tous les aspects technico-économiques de l'adaptation ou des performances du procédé.

Dans le cadre d'un programme de recherche pour la mise en place d'une filière de compostage en Tunisie, nous avons réalisé l'expertise de la station pilote de Béja en nous appuyant sur deux mémoires de projet de fin d'études de l'École supérieure d'ingénieurs en équipement rural [14, 15]. Cette expertise a concerné toutes les phases du procédé : pré-fermentation, fermentation-maturation et criblage.

Les principaux résultats de cette expertise mettent en évidence les défaillances du procédé. En particulier :

- le blocage de l'activité biologique durant la pré-fermentation, avec l'absence de perte de matière, le refroidissement de l'andain, la faible baisse de l'humidité,
- la faible extraction de la matière organique au criblage, avec un faible rendement et une importante fraction des fermentescibles dans les refus,
- la production d'un compost de qualité médiocre, avec la présence d'une importante fraction d'inertes et de pierres et la contamination par les métaux lourds.

2.3.2. Analyse des problèmes

Le processus de compostage consiste en diverses phases de traitement mécanique (séparation des fractions, réduction des granulométries, etc.) et biologique (fermentation, hygiénisation, etc.) des ordures. L'ensemble de ces traitements doit être assuré par des équipements et selon une logique spécifiques aux déchets concernés et en tenant compte des contraintes techniques et économiques locales.

En préalable à tout projet industriel de compostage, les paramètres de traitement adaptés aux déchets traités doivent donc être non seulement identifiés, mais également traduits en critères économiques (quantifiés). Ces paramètres sont, par exemple :

- la gestion de l'humidité initiale des déchets,
- la durée et l'évolution de la fermentation,
- les mailles des criblages,
- les contrôles des températures et des humidités en cours de compostage,
- l'efficacité du tri,
- l'évolution des granulométries,
- l'évolution des contaminants et des inertes.

Dans les PED, les projets de compostage sont implantés sans aucun paramétrage préalable de l'ensemble de ces critères. Hormis la disponibilité du marché (qui doit être vérifiée dans chaque cas par l'étude du marché), ce constat explique la situation d'échec pour des raisons de manque d'adaptation technologique de « près d'une centaine » d'installations de compostage. Il a été illustré par le cas particulier des usines du Maroc.

2.4. Cas du traitement par incinération

L'incinération apparaît, pour de nombreux pays, comme la plus attractive des solutions, souvent promue par une image de modernisme. Ses avantages supposés dans le contexte des PED sont mis en avant : gain de place face à des masses très grandes de déchets produites dans d'immenses agglomérations, avantage de récupération de l'énergie en raison de son coût ou de sa rareté, acquisition de technologies et de compétences modernes et performantes. Au début des années 1990, quelques premières usines d'incinération ont été construites en Asie (Inde, Chine et Indonésie) grandement motivées par l'apport énergétique de l'incinération. Or, soit ces installations n'ont jamais fonctionné (cas de l'usine de New Delhi), soit elles ont fonctionné mais en rencontrant de très grandes difficultés (cas des usines de Poudong, de Shenzhen et de Surabaya).

2.4.1. Problèmes rencontrés à travers quelques projets d'incinération

■ Difficultés et échec de l'incinération à travers le cas de l'usine de Poudong (Chine)

L'usine d'incinération de Pudong, dans la banlieue de Shanghai, a une capacité de 1 000 tonnes/jour. D'un

coût total de 500 millions FF (76,2 millions d'euros), elle a bénéficié d'un co-financement français de 350 millions FF. Cette usine a été conçue selon les normes européennes (par Alstom), sur la base d'un pouvoir calorifique inférieur (PCI) de 1 450 mth/kg. La puissance installée prévue initialement était de 17 mégawatts.

Dès sa mise en route, diverses difficultés de fonctionnement sont apparues :

- l'auto-combustion (capacité de maintenir la combustion sans le rajout de combustibles supplémentaires) ne se fait pas en raison du faible PCI des déchets (1 100 mth/kg) ;
- pour assurer la combustion, les déchets très humides doivent séjourner plusieurs jours avant d'être incinérés, ce qui engendre des dizaines de milliers de tonnes d'eau polluée au fond de la fosse ;
- malgré l'assèchement des déchets, le PCI reste faible ce qui oblige à rajouter du charbon.

■ Difficultés et échec de l'incinération à travers le cas de l'usine de Sourabaya (Indonésie)

L'usine d'incinération de Sourabaya a été confrontée aux mêmes difficultés de fonctionnement que l'usine de Pudong :

- l'auto-combustion des déchets est impossible en raison de leur faible PCI (1 100 mth/kg) ;
- même après un séchage de cinq jours dans la fosse, qui amène le PCI à 1 200 mth/kg, les déchets ne peuvent toujours pas brûler ;
- du carburant doit être ajouté tous les jours, même durant la saison sèche, et même après cinq jours de séchage dans la fosse, pour pouvoir assurer la combustion.

2.4.2. Analyse des problèmes

Le procédé d'incinération des ordures ménagères est un procédé lié principalement aux critères de PCI et d'humidité. Il ne peut être fiable et efficace, avec un rendement calorifique et électrique satisfaisants, que lorsque le PCI est au moins égal à 1 400 mth/kg [16]. Ce qui est la limite de l'auto-combustion. L'importante teneur en composantes combustibles non organiques dans les déchets des pays industrialisés (et le taux réduit d'humidité en conséquence) font que leur PCI est supérieur à 1 600 mth/kg, ce qui permet leur combustion et la récupération d'énergie.

Dans le cas des pays en développement, les teneurs élevées en matières organiques et l'humidité des déchets font que leur PCI est souvent inférieur à 1 400 ou même à 1 000 mth/kg, ce qui n'assure pas leur auto-combustion et, au contraire, oblige au rajout de combustible (pétrole ou gaz naturel).

En dehors des problèmes spécifiques techniques (colmatage par les poussières, formation de fumées acides et corrosives, gestions de masses de jus de fosses, par exemple), l'appoint indispensable et important de combustibles pour faire brûler les déchets amène automatiquement à une augmentation des coûts d'exploitation de ces installations et à une remise en cause des fondements de cette voie de traitement.

Dans les pays en développement, l'incinération des déchets est donc dépourvue d'intérêt en raison :

- du faible (ou très faible) pouvoir calorifique des déchets à haute teneur organique,
- des coûts d'investissement et de fonctionnement inappropriés,
- des contraintes techniques d'exploitation.

Dans les projets d'incinération, ces contraintes (ou réalités) incontournables ne sont pas prises en compte, ce qui conduit à la remise en cause de cette filière, comme nous l'avons décrit à travers les cas particuliers des usines de Pudong en Chine et de Sourabaya en Indonésie.

2.5. Cas des collectes sélectives et du recyclage

2.5.1. Inefficacité du secteur informel et échec du modèle européen

■ Inefficacité du secteur informel

Dans les pays en développement, les activités de recyclage sont exercées par le secteur privé informel. Elles ont toujours existé et constituent un moyen de subsistance de parties très importantes de la population. Ce type de recyclage est, en général, effectué par des chiffonniers (*scavengers*, *botaderos*, etc., selon les pays) et concerne essentiellement les métaux, les papiers-cartons et les textiles. Par rapport à l'activité globale d'un pays et à la capacité de traitement des matières premières, la part de ce recyclage informel peut être très importante et revêtir un intérêt stratégique. Mais, en réalité, la part des déchets ménagers recyclés est peu significative, car ce recyclage

concerne souvent des gisements collectés auprès de petites ou moyennes activités industrielles.

Le chiffonnage s'opère en trois niveaux différents :

- dans les rues avant la collecte, les matériaux sont récupérés chez les petits artisans ou industriels, dans les conteneurs ou dans les déchets entassés dans la rue ;
- à bord des camions de collecte, les chiffonniers – et souvent les rippeurs eux-mêmes – récupèrent les matériaux à partir des déchets collectés ;

- sur le site des décharges (même celles contrôlées), les matériaux sont récupérés à partir des déchets mis en décharge.

Le chiffonnage s'accompagne souvent de risques considérables pour la santé et la sécurité des chiffonniers qui vivent souvent dans les décharges ou dans les bidonvilles avoisinants et travaillent dans des conditions d'hygiène déplorables. De plus, ce type de récupération peut avoir un impact négatif sur l'efficacité de la collecte (éparpillement des déchets autour des conteneurs et ralentissement de la collecte par camions) et entraver l'exploitation des décharges. Très fréquemment, des accidents mortels sont déplorés. Par ailleurs, les quantités collectées sont marginales par rapport aux gisements potentiellement recyclables. À Marrakech (Maroc), ces quantités sont estimées à 50 tonnes/mois, pour un gisement de déchets recyclables d'environ 2 400 tonnes/mois, soit à peine 2 % [2].

Il est estimé que les chiffonniers représentent plus de 2 % de la population d'Afrique, d'Asie et d'Amérique latine. Ils sont environ 16 000 personnes au Caire à vivre par le biais du recyclage en collectant les déchets générés par la ville [17].

■ Échec du modèle européen à travers le cas de la Tunisie

Dans les pays en développement, la mise en place des collectes sélectives, en vue du recyclage de certaines fractions, laisse souvent penser que ces stratégies, tout en réduisant les quantités à collecter, vont entraîner des recettes et donc économiser des coûts. Cependant, les faibles proportions de produits recyclables constatées dans les déchets ménagers, les capacités de recyclage limitées, les surcoûts engendrés par une double organisation de collecte sont des paramètres qui doivent inciter à la prudence avant l'instauration de tels systèmes. Les difficultés rencontrées par les stratégies de collectes sélectives dans les PED sont illustrées ci-après

par le cas particulier de la Tunisie où, depuis 1994, le tri à la source a été successivement implanté sous les diverses formes suivantes.

• La collecte sélective en porte-à-porte (PAP)

Instaurée en 1994 dans un quartier pilote (20 000 habitants/6 500 logements) de Tunis, dans le cadre d'une coopération technique avec le Luxembourg, cette collecte consiste en un tri sélectif des déchets au niveau des ménages. Les déchets sont triés en trois fractions : une fraction organique (déchets de cuisine), une fraction recyclable (papier, carton, plastique, etc.) et une fraction toxique (médicaments, piles, etc.). La collecte de ces fractions est quotidienne, à l'exception des déchets toxiques qui sont collectés une fois par semaine.

• La collecte sélective des déchets d'emballages par apport volontaire (AV)

Ce type de collecte, qui a démarré en août 1999, repose sur un apport volontaire des emballages ménagers vers des conteneurs de rue. Au total, 470 conteneurs ont été répartis dans 10 gouvernorats.

• La collecte sélective des déchets d'emballages par apport rémunéré (AR)

Cette collecte, mise en place en avril 2001, se base sur un système d'apport rémunéré des plastiques et des métaux. Des collecteurs individuels sont ainsi rémunérés en fonction du poids des déchets d'emballages apportés aux points de collecte appelés « Points Eco-Lef ». Ces derniers, au nombre de 28 (répartis dans 15 gouvernorats), sont des sites de réception et de tri primaire des déchets d'emballages ménagers, ressemblant à de petites déchetteries.

La collecte sélective des déchets d'emballages en AV et en AR s'appuie, depuis janvier 1998, sur le système public de reprise et de valorisation des emballages Eco-Lef. À l'instar des systèmes européens de reprise et de valorisation des déchets d'emballages ménagers (Eco-emballages en France, Dual System en Allemagne, etc.), le système tunisien Eco-Lef repose, d'une part sur la responsabilisation des producteurs et conditionneurs des emballages et, d'autre part sur la contribution financière prélevée sur chaque emballage mis sur le marché et perçue par le gouvernement tunisien. Les fonds ainsi obtenus doivent permettre de financer les équipements nécessaires au recyclage des déchets.

Tous ces systèmes ont été successivement testés puis abandonnés. Quel que soit le système adopté, les collectes sélectives se sont révélées coûteuses et peu efficaces avec :

- un taux de tri faible, voire nul, concernant les collectes sélectives en PAP et en AV ;
- un coût de collecte en AR 20 fois plus cher qu'une collecte en mélange : la collecte d'1 tonne de plastiques coûte en moyenne 750 dinars, alors que la collecte en mélange ne coûte que 30 à 45 dinars la tonne. Par ailleurs, on n'a pu que constater l'absence de filières de recyclage pérennes des emballages ménagers plastiques, faute d'existence du marché ou d'équipements adéquats des recycleurs.

De cette situation, il s'en est suivi :

- une réticence croissante des adhérents, en attente de justifications concrètes de leurs contributions au programme Eco-Lef [18] ;
- des centres de tri non fonctionnels et transformés, pour l'occasion, en centres de stockage de déchets, dans l'attente d'une solution de reprise.

2.5.2. Analyse des problèmes

La volonté de développer des collectes sélectives des déchets ménagers sur le mode européen est très répandue dans les programmes de coopération avec les PED. Mais, la plupart des tentatives concrètes aboutissent à des échecs et mettent en évidence une approche peu fondée et inefficace. En effet, les très faibles proportions de produits recyclables dans les déchets ménagers et la difficile mobilisation des populations pour les actes de séparation engendrent un surcoût et rendent inopérant un tel choix pour les municipalités qui ont, par ailleurs, bien des difficultés à accomplir et à financer le service de collecte de base. Le cas particulier de la Tunisie, où tous les systèmes possibles de collectes sélectives ont été successivement testés sans succès, apporte un argument difficilement contestable.

3. Nécessité d'une démarche de « recherche-développement » pour le choix de traitements adaptés aux contextes des PED

Selon l'analyse de la Banque mondiale [19], l'échec des projets dans le secteur des déchets, dans les pays

en développement, est principalement dû à des faiblesses institutionnelles et financières, la disponibilité de technologies adaptées n'étant en réalité pas prise en considération. En particulier, les arguments suivants sont avancés :

- les unités de compostage ne peuvent produire de manière efficace du compost de qualité tant que les systèmes de collectes sélectives ne sont pas mis en place ;
- les incinérateurs ne peuvent fonctionner de manière efficace si leurs frais d'entretien et d'exploitation dépassent la capacité financière de l'opérateur.

Bien qu'il soit fondamental de bien évaluer les contraintes économiques et institutionnelles dans toute politique ou projet, cet argumentaire n'est pas fondé car il ne reconnaît ni l'expertise réelle du terrain, ni le constat des erreurs ou approximations techniques des projets lourds de conséquence. La question préalable et incontournable se situe au niveau technologique, au niveau de la prise en compte de la nature propre des déchets, et des adaptations possibles ou nécessaires des technologies et des performances des installations. Tous ces éléments se traduisant, bien sûr, en termes économiques.

L'analyse de la situation des déchets dans les PED fait apparaître que les projets « déchets », qu'ils soient réalisés par les gouvernements ou par les bailleurs de fonds, se caractérisent le plus souvent par l'inadaptation des technologies et par l'absence d'analyses spécifiques aux conditions locales. Ces défaillances sont elles-mêmes explicables par :

- l'insuffisance des analyses nécessaires pour connaître de manière détaillée la nature des déchets et les spécificités locales,
- l'absence de tests paramétriques préalables pour caractériser les processus lors des procédures de schémas-directeurs ou d'études de gestion des déchets,
- l'absence de programmes de recherche-développement dans le domaine des déchets, qui est liée à l'absence de budgets de recherche en ce domaine.

3.1. Nécessité d'une démarche expérimentale pour caractériser les systèmes de traitement

Que ce soit pour la décharge, l'incinération ou le compostage, la recherche-développement doit se traduire par une démarche expérimentale, prenant en

compte les paramètres réels et basant ses hypothèses et conclusions sur des données chiffrées et mesurées localement. La caractérisation et l'implantation d'un système de traitement selon un procédé adapté, dans un contexte donné, doit donc s'appuyer sur des tests de terrain pour cerner les paramètres de base de ce système.

3.1.1. Dans le cas de la décharge

Le suivi de l'évolution des caractéristiques des déchets, selon les contraintes d'exploitation, va conditionner le choix des modalités d'exploitation de la décharge par la détermination, en particulier : de l'appétitude des déchets au compactage, de leur taux de dégradation, de la production des lixiviats et du biogaz.

3.1.2. Dans le cas du compostage

C'est par l'expérimentation en vraie grandeur que les différentes étapes du procédé peuvent être identifiées, ainsi que les bases techniques et économiques nécessaires à sa conception, c'est-à-dire la capacité optimale, les superficies nécessaires, les types et puissances des équipements, les rendements de traitement et de production, le coût de production, le prix de revient, etc.

3.1.3. Dans le cas de l'incinération

Les tests vont permettre de caler les paramètres de l'incinération et de fixer les conditions de sa gestion en fonction de la nature et de la diversité des déchets. Ces paramètres sont, en particulier, les quantités d'oxygène nécessaires à la combustion, la température des gaz à la sortie de la chambre de combustion, les modes de refroidissement des gaz, etc.

3.2. Nécessité d'une démarche préalable de caractérisation des déchets

La méconnaissance des bases de fonctionnement des systèmes de traitement s'explique dans tous les cas qui ont été analysés par l'absence de connaissance précise des caractéristiques physiques et chimiques des déchets concernés.

3.2.1. Dans le cas de la décharge

La réelle connaissance des déchets est essentielle pour définir les caractéristiques géotechniques de la décharge, sa durée de vie et son mode d'exploitation. Ces données sont en particulier :

- l'origine et les flux des déchets entrants,
- leur composition physique et chimique,

- la variation de la densité et de la teneur en eau durant l'exploitation.

3.2.2. Dans le cas du compostage

La connaissance de la composition et des caractéristiques physico-chimiques des déchets à composter est fondamentale pour caractériser les modalités de leur traitement dans une chaîne de compostage. Ces données sont en particulier :

- la composition chimique pour équilibrer les mélanges,
- la composition exacte des matières organiques et des éléments non compostables qui devront être triés,
- la composition granulométrique pour le dimensionnement des équipements de tri,
- la présence d'éventuels facteurs nocifs, tels que polluants, métaux lourds, pathogènes, etc.

3.2.3. Dans le cas de l'incinération

L'incinération comporte les trois phases suivantes de combustion : le séchage, la combustion proprement dite, la fin de la combustion et le refroidissement des mâchefers. À ces trois phases correspondent trois constituants des déchets, dont la connaissance est essentielle :

- les matières combustibles,
- les inertes,
- l'eau.

Conclusion

Cette analyse montre qu'une connaissance précise des paramètres de fonctionnement de chaque système de traitement est une condition préalable et objective à une démarche de choix de traitement des déchets. L'analyse présentée dans ce chapitre montre que les critères de choix peuvent être entièrement modifiés dans l'absolu ou dans un système de priorités. De plus, la mauvaise prise en compte de la nature des déchets, de manière laxiste, insouciant ou approximative, apparaît dans tous les cas à la source d'erreurs lourdes de conséquences.

La nécessité de caractériser précisément les déchets est donc essentielle pour la connaissance de ces paramètres. La caractérisation des déchets doit être basée sur une méthode rigoureuse et adaptée à la finalité d'identification de ces critères de manière parfaitement définie.

Bibliographie

- [1] DIRECTION GÉNÉRALE DES COLLECTIVITÉS LOCALES - DIRECTION DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT, Maroc (DGCL-DEA), 1991 : "Principes et pratiques pour la gestion rationnelle des déchets solides municipaux". Document réalisé pour le ministère de l'Intérieur marocain avec le soutien de l'Agence américaine pour le développement international (USAID), 82 p.
- [2] DIRECTION GÉNÉRALE DES COLLECTIVITÉS LOCALES - DIRECTION DE L'EAU ET DE L'ASSAINISSEMENT, Maroc (DGCL-DEA), 1995 : "Collecte et traitement des ordures ménagères au Maroc". Document technique réalisé pour le ministère de l'Intérieur marocain, avec le soutien du ministère français des Affaires étrangères, 40 p.
- [3] PROGRAMME D'ASSISTANCE TECHNIQUE POUR L'ENVIRONNEMENT MÉDITERRANÉEN - PROJET RÉGIONAL DE GESTION DES DÉCHETS SOLIDES (METAP-PRGDS-Algérie), 2005 : "Analyse et recommandations en matière de recouvrement des coûts de la gestion des déchets municipaux en Algérie", 85 p.
- [4] PROGRAMME D'ASSISTANCE TECHNIQUE POUR L'ENVIRONNEMENT MÉDITERRANÉEN - PROJET RÉGIONAL DE GESTION DES DÉCHETS SOLIDES (METAP-PRGDS-Tunisie), 2004 : Rapport Pays - Tunisie. Préparé par le consortium international GTZ-ERM-GKW, 42 p.
- [5] PROGRAMME D'ASSISTANCE TECHNIQUE POUR L'ENVIRONNEMENT MÉDITERRANÉEN - PROJET RÉGIONAL DE GESTION DES DÉCHETS SOLIDES (METAP-PRGDS-Maroc), 2004 : Rapport Pays - Maroc. Préparé par le consortium international GTZ-ERM-GKW, 51 p.
- [6] PROGRAMME D'ASSISTANCE TECHNIQUE POUR L'ENVIRONNEMENT MÉDITERRANÉEN - PROJET RÉGIONAL DE GESTION DES DÉCHETS SOLIDES (METAP-PRGDS-Palestine), 2004 : Rapport Pays - Palestine. Préparé par le consortium international GTZ-ERM-GKW, 55 p.
- [7] AGENCE NATIONALE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ANPE, Tunisie), 1999 : "Rapport sur l'amélioration de la gestion de la décharge Jebel Chekir/Tunis - Partie I". Préparé pour le ministère de l'Environnement tunisien par la coopération allemande GTZ, 65 p.
- [8] GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ, Assistance technique allemande) : "Upgrading of disposal standards in Gaza". Intervention présentée par Manfred Scheu au séminaire international "Planning for sustainable and integrated solid waste management". Manille (Philippines), du 18 au 21 septembre 2000, 9 p.
- [9] GILLET R., 1985 : "Traité de gestion des déchets solides et son application aux pays en voie de développement". OMS-PNUD, Tomes 1 et 2, Copenhague, 980 p.
- [10] AGENCE NATIONALE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ANPE, Tunisie), 1998 : "Etude d'exécution de l'unité de compostage des ordures ménagères de Sousse. Étude de faisabilité". Préparée pour l'ANPE par Sweco International (Suède) et MEDIEN (Tunisie), 151 p.
- [11] AGENCE NATIONALE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ANPE, Tunisie), 1999 : "Etude d'exécution de l'unité de compostage des ordures ménagères de Sousse. Etude d'impact". Préparée pour l'ANPE par SWECO International (Suède) et MEDIEN (Tunisie), 75 p.
- [12] AGENCE NATIONALE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ANPE, Tunisie), 2000 : "Etude d'exécution de l'unité de compostage des ordures ménagères de Sousse. Rapport technique d'exécution". Préparée pour l'ANPE par SWECO International (Suède) et MEDIEN (Tunisie), 81 p.
- [13] AGENCE NATIONALE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ANPE, Tunisie), 1998 : "Manuel d'exploitation de la Station de Compostage de Béja (Gestion de qualité, exploitation, utilisation du compost)". Réalisé par l'assistance allemande GTZ, 20 p.
- [14] KHLIFI N., 2002 : "Évaluation du traitement des déchets ménagers par compostage à la station pilote de Béja. Analyse granulométrique et étude de la dynamique de l'azote durant la pré-fermentation". Projet de fin d'études à l'École supérieure d'ingénieurs d'équipement rural. Réalisé dans le cadre de l'expertise de la station de Béja par la TBC, 72 p.
- [15] SOULI S., 2002 : "Évaluation du traitement des déchets ménagers par compostage à la station pilote de Béja. Analyse granulométrique et étude de la dynamique de la matière organique et du carbone durant la pré-fermentation". Projet de fin d'études à l'École supérieure d'ingénieurs d'équipement rural. Réalisé dans le cadre de l'expertise de la station de Béja par la TBC, 72 p.
- [16] ASSOCIATION GÉNÉRALE DES HYGIÉNISTES ET TECHNICIENS MUNICIPAUX, 1985 : "Les résidus urbains - Traitement et valorisation", volume 2. Technique et Documentation, Lavoisier, Paris (2^{ème} édition), 437 p.
- [17] PROGRAMME D'ASSISTANCE TECHNIQUE POUR L'ENVIRONNEMENT MÉDITERRANÉEN - PROJET RÉGIONAL DE GESTION DES DÉCHETS SOLIDES (METAP-PRGDS-Égypte), 2004 : "Rapport Pays - Égypte". Préparé par le consortium international GTZ-ERM-GKW, 55 p.
- [18] AGENCE NATIONALE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ANPE, Tunisie), 2000 : "Optimisation du système Eco-Lef de reprise et de valorisation des déchets d'emballage ménagers. Rapport d'évaluation de l'état existant". Préparé pour le ministère de l'Environnement tunisien par la coopération allemande GTZ, 55 p.
- [19] PROGRAMME D'ASSISTANCE TECHNIQUE POUR L'ENVIRONNEMENT MÉDITERRANÉEN - PROJET RÉGIONAL DE GESTION DES DÉCHETS SOLIDES, 2005 : "Rapport Synthèse Pays". Préparé par le consortium international GTZ-ERM-GKW, 70 p.

Résumé

S. BEN AMMAR, B. FOULLY. Situation des déchets dans les pays en développement et enjeux de leur caractérisation

L'analyse de la situation des déchets dans les pays en développement montre un bilan contrasté, mais globalement déplorable, avec des services de collecte, d'élimination et de traitement des déchets gravement défectueux.

Les échecs et difficultés au niveau du traitement peuvent s'illustrer par quelques constats significatifs :

- des comportements très différents de ce qui avait été prévu au niveau de l'exploitation des décharges – énormes productions de lixiviats et traitements inopérants, compactage inefficace et enlèvement des engins, etc.,
- de grands problèmes techniques de fonctionnement des installations, du compost de mauvaise qualité et des difficultés pour sa commercialisation, dans le cas du compostage,
- la non combustion des déchets et des masses considérables de jus pollués dans les fosses des usines d'incinération,
- les très faibles proportions de produits recyclables et la difficile mobilisation des populations pour les actes de séparation, au niveau des projets de collectes sélectives.

Selon notre propre expérience du terrain des pays en développement, il apparaît que ces échecs sont dus principalement à l'importation de technologies occidentales « clés en main », sans aucune maîtrise des bases de conception et de fonctionnement des systèmes de traitement et sans démarche préalable d'adaptation et de choix comparatif des filières. Ce constat doit être corroboré par le fait que les expertises précises des raisons de ces échecs sont inexistantes ou très parcellaires.

La plupart de ces bases ne peuvent être obtenues que grâce à des données, mesures et analyses parfaitement fiables, effectuées dans des laboratoires spécialisés dans le domaine des déchets et selon une démarche expérimentale de caractérisation des systèmes de traitement. Cependant, si dans les pays développés, les bases et outils méthodologiques et d'analyses spécifiques aux déchets existent, on ne peut que constater leur absence ou leur état embryonnaire. Leur défaillance étant aisément explicable par l'absence de projets de type recherche-développement, pour lesquels peu de compétences et peu de financements sont disponibles.

Summary

S. BEN AMMAR, B. FOULLY. Solid waste situation in developing countries and challenges facing their characterization

The analysis of the solid waste situation in developing countries shows globally deplorable and seriously faulty services of waste collection, dumping and treatment.

Failures encountered in solid waste treatment can be illustrated by some meaningful points :

- a very different behaviour from what was planned in the design of the landfill – enormous leachate production and inoperative treatment, inefficient compaction, etc.,
- technical problems in compost facilities, with bad compost quality and difficulty in its marketability,
- non combustion of wastes, with considerable masses of polluted water in incinerator's pits,
- very low proportion of recyclable waste products and constraints in waste sorting at the source.

Based on our own field experience on developing countries, it appears that these failures are due to imported "turnkey" technologies, without any mastering of designs and operation basics in treatment systems. Moreover, these failures have not been investigated, audited nor evaluated properly in order to determine the reasons for such deficiency.

To avoid these failures, reliable data measurements and analyses must be carried out by laboratories specialized in solid waste and following methodologies that are tested in the local context. However, although these tools and methodologies do exist in developed countries, it is not the case in developing countries, due to the absence of applied research and development, for which financing and expertise are not available.