

**COMPOSTAGE DES DÉCHETS MÉNAGERS  
ET VALORISATION DU COMPOST  
CAS DES PETITES ET MOYENNES COMMUNES AU MAROC**

**Brahim SOUDI \***

\* Département des Sciences du sol, Institut  
Agronomique et Vétérinaire Hassan II,  
B.P. 6202-Instituts, 10101 Rabat, Maroc  
e-courrier : b.soudi@iav.ac.ma



Organisation des Nations Unies pour  
le Développement Industriel  
Service de l'Environnement,  
B.P. 300, A-1400 Vienne  
AUTRICHE



ENDA Maghreb  
Environnement Développement Action  
196, Quartier OLM  
Rabat Souissi  
MAROC

## REMERCIEMENTS

Ce manuel pratique a été réalisé pour le compte de l'Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel (ONUDI) à la demande d'ENDA-Maghreb et avec le soutien de l'Ambassade de France au Maroc et de la Commission Européenne (PRODEC).

L'auteur tient à remercier :

- Pr Fouad GUESSOUS, Directeur de l'institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II.
- Dr Mohamed EISA, Service de l'Environnement à l'ONUDI.
- Dr Ibrahim MAGDI, Coordinateur des Programmes d'ENDA-Maghreb au Maroc.
- L'équipe technique de cette ONG et tout particulièrement Samuel WATCHUENG, Rachid BEN ABBOU et Bruno MERIC pour la mise à sa disposition de toutes les informations et données concernant les projets-pilotes, ce qui a grandement facilité l'amélioration de ce manuel sur les plans technique et méthodologique .
- Les partenaires d'ENDA-Maghreb et notamment les Communes de Tiflet, Oulmès et Salé Bab Lamrissa.
- Pr Moussa ETTALIBI, Éditeur en chef d'Actes Éditions, qui a bien voulu corriger, réaliser et inclure ce manuel dans la nouvelle collection «Agriculture et Environnement» conçue à cet effet.

### © Actes Editions, 2001

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II

B.P. 6202-Instituts, 10101 Rabat, Maroc

Tél. : 037 77 43 51 Fax : 037 77 81 35

e-courrier : m.ettalibi@iav.ac.ma

Dépôt légal : 449/2001

ISBN : 9981-801-47-X

Tous droits de reproduction et de traduction réservés

## SOMMAIRE

<b>PRÉFACE .....</b>	<b>7</b>
Chapitre 1	
<b>PROBLÉMATIQUE DE GESTION DES DÉCHETS MÉNAGERS AU MAROC .....</b>	<b>9</b>
1. INTRODUCTION .....	9
2. GESTION DES DÉCHETS MÉNAGERS .....	11
Chapitre 2	
<b>PROJETS-PILOTES DE COMPOSTAGE DES DÉCHETS MÉNAGERS DANS LES PETITES ET MOYENNES COMMUNES .....</b>	<b>15</b>
1. INTRODUCTION .....	15
2. CARACTÉRISATION DES TROIS PROJETS UTC .....	15
Chapitre 3	
<b>COMPOSTAGE DE DÉCHETS MÉNAGERS .....</b>	<b>23</b>
1. INTRODUCTION .....	23
2. COMPOSTAGE .....	23
3. FILIÈRES TECHNOLOGIQUES DE COMPOSTAGE .....	26
4. PRINCIPES DE COMPOSTAGE .....	26
Chapitre 4	
<b>APPROCHE TECHNIQUE POUR LA MISE EN PLACE D'UNE UTC .....</b>	<b>51</b>
1. INTRODUCTION .....	51
2. DIMENSIONNEMENT ET FONCTIONNALITÉ D'UNE UTC .....	51
3. SUPERFICIE POUR UNE UNITÉ DE COMPOSTAGE .....	57
4. TEMPS NECESSAIRE POUR LES OPERATIONS DE TRI ET DE RETOURNEMENT .....	58
Chapitre 5	
<b>COMMERCIALISATION ET VALORISATION DU COMPOST .....</b>	<b>59</b>
1. INTRODUCTION .....	59
2. VALEUR AGRONOMIQUE DU COMPOST .....	61
3. PRATIQUES D'UTILISATION DU COMPOST .....	61
4. AJUSTEMENT DES DOSES EN FONCTION DE LA TENEUR EN METAUX LOURDS .....	62

5. COMMERCIALISATION DU COMPOST .....	65
6. PRIX DU COMPOST .....	67
7. CONDITIONNEMENT DU COMPOST .....	68
8. ESSAIS AGRONOMIQUES .....	68

#### Chapitre 6

<b>MODALITÉS ET PROCÉDURES DE MISE EN PLACE D'UN PROJET DE COMPOSTAGE .....</b>	<b>71</b>
---	-----------

1. INTRODUCTION .....	71
2. DÉMARCHE ADOPTÉE PAR ENDA-MAGHREB POUR LA MISE EN PLACE DES UTC .....	71
3. PROPOSITION D'AMÉLIORATION DE LA DÉMARCHE .....	72
4. CONSIDÉRATIONS COMPLÉMENTAIRES .....	81

#### Chapitre 7

<b>DIRECTIVES SANITAIRES, ENVIRONNEMENTALES ET ÉDUCATIONNELLES .....</b>	<b>83</b>
--	-----------

1. INTRODUCTION .....	83
2. DIRECTIVES ENVIRONNEMENTALES .....	84
3. DIRECTIVES SANITAIRES .....	87
4. DIRECTIVES ÉDUCATIONNELLES ET DE VULGARISATION .....	87
5. DIRECTIVES DE SUIVI ET DE SURVEILLANCE .....	89

<b>RÉFÉRENCES .....</b>	<b>91-94</b>
-------------------------	--------------

<b>INDEX ALPHABÉTIQUE .....</b>	<b>95-98</b>
---------------------------------	--------------

<b>TABLE DES MATIÈRES .....</b>	<b>99-102</b>
---------------------------------	---------------

<b>LISTE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>101-102</b>
-------------------------------------	----------------

## PRÉFACE

La gestion des déchets ménagers constitue, à l'heure actuelle, la préoccupation majeure de toutes les communautés. La démarche entreprise en matière d'évacuation et de traitement des ordures ménagères est malheureusement loin de résoudre le problème au vu des quantités colossales produites au Maroc et du type d'ordures collectées.

Eu égard au taux d'humidité et de richesse en matières organiques fermentescibles des ordures ménagères des pays en développement comme le Maroc, le compostage s'avère une filière prometteuse. En effet, il s'insère parfaitement dans un système de gestion intégrée des déchets ménagers. De ce fait, il complète de façon avantageuse les systèmes adoptés comme les décharges contrôlées réceptacle des refus non compostables et la récupération des matières recyclables.

Ce manuel vient à point nommé pour répondre aux questionnements non seulement des gestionnaires du secteur, mais également de la population confrontée aux nuisances des déchets ménagers déposés de manière sporadique dans les décharges sauvages.

Il se propose de fournir les éléments technico-économiques concernant l'installation, la conduite et l'exploitation des unités de compostage adaptées aux communes de tailles petites et moyennes. L'objectif recherché est d'utiliser des filières technologiques simples à légèrement mécanisées en fonction du volume de déchets à traiter. De telles filières offrent, en effet, plusieurs avantages : faiblesse du coût, viabilité des unités, besoin élevé en main-d'œuvre et donc opportunité de résorber partiellement le chômage en milieu rural et péri-urbain. Cette approche est tout à fait contraire à celle qui est adoptée (et justifiée) par les pays industrialisés qui se caractérisent par un déficit en main-d'œuvre susceptible d'être

employée dans ce secteur peu productif, par la capacité d'adopter les filières technologiques avancées et par le fait que les terrains ne sont pas toujours disponibles.

L'auteur, Professeur Brahim SOUDI, du Département des Sciences du Sol à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, en concertation avec les organismes commanditaires, a ventilé le contenu de ce manuel en plusieurs volets qui abordent la problématique de gestion des déchets ménagers, les projets-pilotes de compostage, l'approche technique pour la mise en place d'une UTC et la commercialisation et la valorisation du compost. Les modalités et procédures de planification et de mise en place d'un projet de compostage ainsi que les directives environnementales, sanitaires et éducationnelles auxquelles doit se conformer tout projet de ce genre sont également détaillées.

Ce manuel pratique qui, j'en suis sûr, trouvera un large écho auprès du grand public, s'adresse tout particulièrement aux gestionnaires de l'hygiène publique dans les petites et moyennes communes, aux ONG, aux étudiants et aux chercheurs dans le domaine de gestion et de valorisation des déchets ménagers.

Les idées véhiculées par le texte pourront certainement contribuer, d'une part, à la résorption partielle du chômage en générant des postes d'emploi dans les processus de tri, compostage et recyclage et, d'autre part, à l'utilisation du compost dans les activités agricoles, sylvicoles et ornementales.

Dans tous les cas, cet ouvrage s'inscrit dans le cadre de la recherche d'une durabilité de la qualité de la vie et de l'environnement et notamment la préservation des ressources naturelles. Par-là même, il interpelle plusieurs secteurs et notamment l'environnement, l'agriculture, la santé publique et l'éducation.

**Pr Fouad GUESSOUS**  
**Directeur de l'Institut**  
**Agronomique et Vétérinaire Hassan II**

## PROBLÉMATIQUE DE GESTION DES DÉCHETS MÉNAGERS AU MAROC

### 1. INTRODUCTION

Le développement des activités humaines et industrielles concourent inéluctablement à l'augmentation de la production de déchets qui ont des impacts néfastes sur la santé humaine et animale et sur les ressources en eaux et en sols. Le traitement de ces déchets et leur élimination deviennent impératifs. Alors tout problème réside dans la recherche de solutions adaptées, écologiquement compatibles et en harmonie avec les directives environnementales et les intérêts socio-économiques.

Bien que le taux de collecte soit en accroissement significatif atteignant près de 70% dans plusieurs localités du Maroc, les déchets collectés sont déposés dans des décharges sauvages ce qui génère des nuisances du point de vue hygiénique et environnemental.

Ponctuellement, on a pu assister à des actions de gestion de déchets non appropriées aux conditions locales aussi bien au niveau des filières de traitement qu'au niveau du mode de collecte. Vu les déchets rejetés et leur nature, suivant les modes de vie et les caractéristiques climatiques et géographiques, les techniques de traitement ne sont pas facilement adaptables.

Les études menées dans ce domaine par les institutions gouvernementales et universitaires montrent que les déchets au Maroc, à l'instar de la plupart des autres pays en développement, se caractérisent par une humidité élevée et une forte teneur en matières organiques compostables (Jemali *et al.*, 1996a, 1996b ; Soudi, 1999 ; REEM, 1999). L'incinération des déchets trop humides est ainsi difficile à concevoir sur le plan technique, sans compter l'aspect financier très prohibitif pour la très grande majorité des collectivités locales des pays en développement.

Ainsi, le choix de la filière de compostage s'impose dans ces conditions. Il permet de valoriser le compost destiné aux amendements des sols dont la qualité biologique et physico-chimique se détériore de manière significative suite aux déperditions de la matière organique des sols soumis à l'intensification agricole, à la mauvaise gestion des résidus de récolte, aux conditions thermiques favorables à la biodégradation de la matière organique, au surpâturage, aux pertes en sols par érosion et à d'autres processus de dégradation d'origine naturelle et/ou humaine.

Malgré les efforts déployés par l'ingénierie dans le développement de concepts appropriés d'élimination de ces déchets et dans les installations d'unités technologiques performantes, le secteur se heurte, le plus souvent, à des problèmes de gestion et particulièrement dans les pays en voie de développement. Le transfert de technologies est souvent inadapté dans ce domaine.

Les expériences conduites au Maroc concernant les grandes unités de traitements d'ordures ménagères sont au nombre de quatre : Rabat, Meknès, Marrakech, Casablanca. Ces unités ne sont pas toutes opérationnelles. En effet, trois d'entre elles sont fermées. L'unité de Rabat demeure la seule qui a fonctionné pendant quelques années mais la quantité de déchets traités a chuté pratiquement de moitié et la qualité du compost produit n'est pas conforme aux normes requises. Le diagnostic de cette situation montre que les expériences de compostage dans les grands centres ont été soldées par un échec total.

Cet échec est attribué aux défaillances de gestion, au matériel mécanique utilisé, à la faible qualité du compost, au déficit de rentabilité, au problème de maintenance et à la non adaptation du matériel aux changements de la composition et de l'humidité des déchets. Une unité de compostage a été récemment implantée à Agadir avec un équipement perfectionné similaire à celui de l'unité de Rabat. Il est encore prématuré de juger les résultats obtenus dans cette unité.

Contre toute attente, la politique de bioconversion de déchets ménagers en compost souffre d'une contradiction née du fait que le marché d'écoulement se rétrécit avec l'expansion urbaine et avec l'augmentation du volume de déchets produits. Par conséquent, la



grande ville ne peut pas en plus baser sa politique de gestion des déchets sur la conversion totale des déchets en compost. Les projets de compostage les plus réussis sont ceux qui s'opèrent dans les petits centres urbains ou péri-urbains dans des régions agricoles.

Au Maroc, comme dans la plupart des pays en voie de développement, ces centres ont un caractère mixte urbain-rural. Les déchets ménagers générés dans les petites et moyennes communes sont caractérisés par une proportion importante de matières compostables pouvant atteindre près de 80%.

Dans ce type de contexte, la filière de compostage semble être l'alternative appropriée. D'autres arguments sont en faveur de cette filière et résident dans la disponibilité des terrains agricoles à proximité de ce type de communes et la faible proportion des matières génératrices de pollution métallique qui peuvent être encore largement réduites lorsqu'on adopte l'opération de tri. Le compostage peut générer des composts à grande valeur minérale et organique pour l'entretien du patrimoine humique des sols et la réhabilitation des sols dégradés particulièrement à vocation agro-sylvo-pastorale.

Il est aussi important de souligner que la participation, à l'amont et à l'aval, de la population contribuera de manière significative à l'intégration du compostage dans la gestion des déchets, à l'obtention d'un compost conforme aux directives environnementales et à la valorisation des résidus fermentés.

## **2. GESTION DES DÉCHETS MÉNAGERS**

### **2.1. Volume de déchets produits**

Au Maroc, les activités socio-économiques de production et de consommation couplées à l'accroissement démographique ont généré une augmentation importante des quantités de déchets solides. La production actuelle des déchets à l'échelle nationale s'élève à environ 17 413 tonnes/jour (REEM, 1999) et varie d'une région à l'autre. D'après la même source, cette production n'était que 12 370 tonnes/jour en 1992. La production par tête d'habitant varie de 0,3 à 0,8 kg/jour (Chalabi, 1999).

## 2.2. Contraintes de gestion

La gestion des déchets ménagers a été depuis longtemps assurée par les collectivités locales selon la charte communale de 1976. La gestion actuelle de ce secteur se caractérise par un certain nombre d'insuffisances et de contraintes. Celles-ci sont listées en 1999 par les organismes concernés et notamment les collectivités locales et le Secrétariat d'État chargé de l'Environnement (Encadré 1.1).

### **Encadré 1.1. Quelques insuffisances de la gestion actuelle des déchets ménagers**

- Faiblesse des moyens financiers et ,souvent, l'absence de ligne budgétaire spécifique à la gestion de déchets au niveau des collectivités locales.
- Défaillances des systèmes de collecte qui se soldent par un très faible taux de collecte et par des rejets dans décharges sauvages.
- Multiplicité des organismes intervenants.
- Absence de filières spécialisées de déchets.
- Absence de normes et d'outils réglementaires de contrôle des différentes étapes d'acheminement des déchets.
- Dilution et chevauchement des responsabilités des différents générateurs de déchets.
- Schémas Directeurs d'assainissement ne concernant que les grands centres urbains et n'incluant pas toujours des centres péri-urbains ce qui conduit à un risque sanitaire et à une pollution accrue des milieux récepteurs (dépôts dans les lits d'Oueds, décharges sauvages sur des terrains perméables, etc.).

Les directives récentes émanant du Secrétariat d'État chargé de l'Environnement en collaboration avec la Direction des Collectivités Locales (Conférence de février, 1999) ont été focalisées sur la priorité d'instauration d'une de gestion rationnelle des déchets solides basée sur des normes et prescriptions techniques de production, de transport, de stockage, de recyclage et de traitement. Ces mêmes directives ont appelé à une coopération horizontale de tous les acteurs concernés. Elles stipulent, toutefois, de lever un certain nombre de contraintes relatives aux aspects financiers, institutionnels et juridiques. En effet, les constats ayant émané des ateliers organisés par le Secrétariat d'État Chargé de l'Environnement et la Direction des Collectivités Locales en collaboration avec l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) et la Coopération Technique Allemande (GTZ) ont mis en exergue les défaillances et contraintes suivantes :

- Sur le plan institutionnel et financier :
  - absence de services spécialisés en matière de gestion de déchets solides ;
  - absence d'unités de contrôle au niveau des communes ;
  - absence de comité régional pour la coordination horizontale entre les différentes parties concernées;
  - dilution des responsabilités des différents producteurs de déchets;
  - absence de planification à moyen et long terme.
  
- Sur le plan technique : forte dépendance des aspects financiers et organisationnels :
  - absence d'inventaire et de typologie de déchets ;
  - faible taux de couverture par la collecte à cause des schémas non adaptés aux structures des différents quartiers et à cause de la faiblesse des moyens financiers ;
  - insuffisance des équipements de base ;
  - manque de personnel qualifié.
  
- Sur le plan juridique et réglementaire :
  - absence d'un cadre juridique adéquat ;
  - non mise en application du projet de Loi relative aux études d'impact des déchets sur l'environnement ;
  - absence d'une politique d'imposition en fonction de la production des déchets.
  
- Sur le plan financier :
  - absence d'une ligne budgétaire spécifique à la gestion de déchets ;
  - faible taux de recouvrement de la taxe d'édilité ;
  - faibles ressources pour le renouvellement des équipements surtout dans les petites communes.
  
- Sur le plan éducationnel :
  - absence de programmes éducationnels et de sensibilisation des opérateurs dans le domaine de la gestion des déchets ;
  - insuffisance de la participation de la société civile à une meilleure gestion des déchets.

Pour pallier aux défaillances réglementaires entravant la gestion des déchets, le Secrétariat d'État chargé de l'Environnement a soumis un projet de Loi relatif à la gestion des déchets et à leur

élimination : tous résidus d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien, meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ou à l'obligation de s'en défaire dans le but de ne pas nuire à la collectivité et de protéger l'environnement.

Ce même projet de loi a défini sept catégories ou types de déchets : déchets ménagers, déchets industriels, déchets médicaux, déchets agricoles, déchets dangereux, déchets inertes et déchets ultimes.

## **PROJETS-PILOTES DE COMPOSTAGE DES DÉCHETS MÉNAGERS DANS LES PETITES ET MOYENNES COMMUNES**

### **1. INTRODUCTION**

Le présent chapitre a pour objet de caractériser les projets-pilotes de tri-compostage implantés dans des petites et moyennes communes. Comme on peut le constater, ces communes sont circonscrites dans des milieux agricoles ou sylvo-agricoles. On donnera un aperçu sur le milieu physique et socio-économique de ces communes et on décrira les projets-pilotes avec toutes leurs composantes. Le lecteur trouvera également des éléments concernant le niveau technologique de ces projets-pilotes ainsi que des ordres de grandeur des coûts inhérents à la mise en place de ce type d'unités.

### **2. CARACTÉRISATION DES TROIS PROJETS UTC**

#### **2.1. Description générale**

L'ONG ENDA-Maghreb a entrepris et supervisé trois projets d'implantation des Unités de Tri-Compostage (UTC) au Maroc (Encadré 2.1). Ces projets représenteront une base de données intéressante pour l'élaboration des démarches et procédures de mise en place d'unités similaires dans d'autres communes.

Vu sa situation géographique intra-urbaine, le projet 1 a essentiellement un rôle expérimental qui permettra de guider la mise en place des autres UTC. Sa proximité autour des établissements de recherche, des laboratoires d'analyses et des terrains agricoles de la région de Rabat-Salé renforce sa fonction expérimentale.

**Encadré 2.1. Projets UTC pilotes entrepris par ENDA Maghreb au Maroc**

- **Projet 1.** Mise en place d'une unité expérimentale de Tri et de compostage à Bab Lamrissa, Salé.
- **Projet 2.** Mise en place d'une unité de tri et de compostage des déchets ménagers et d'un centre d'enfouissement technique de refus à Tiflet. Ce projet s'inscrit dans le cadre du Programme Maroc «Villes propres».
- **Projet 3.** Mise en place d'une unité de tri et de compostage et d'une décharge contrôlée avec des possibilités de recyclage à Oulmès.

Les deux autres projets ont quatre dimensions importantes : réelle, pilote, intégrée et méthodologique :

- Ce sont des projets à l'échelle réelle dans le sens où ils concernent directement l'ensemble des communes indiquées.
- Ils sont pilotes dans la mesure où ils joueront le rôle de démonstration et de modèles transférables à d'autres communes.
- Ils ont un caractère intégré dans la mesure où ils concernent la trilogie : récupération - valorisation - élimination.
- Les actions à l'amont (collecte, nettoyage, tri à la source, etc.) sont également concernées. Ils apportent une méthodologie de mise en place de ce type de projets caractérisés par des contraintes souvent majeures et impliquant différents acteurs : les collectivités locales, les autorités locales, les services techniques, la population génératrice de déchets, les agriculteurs, etc.

Le tableau 2.1 présente quelques caractéristiques de ces projets et l'état d'avancement de leurs différentes composantes.

**2.2. Zones d'implantation des trois projets**

On se contentera dans ce qui suit de donner quelques éléments sur les zones de projets en relation avec la thématique de gestion des déchets.

**Tableau 2.1. Données générales sur les projets UTC**  
(D'après ENDA-Maghreb)

Projet	Population concernée	Quantité de déchets traités	Composantes du projet**
Bab Lamrissa Salé	1 700	1 tonne/j ( en phase expérimentale)	Tri-compostage Campagne expérimentale de valorisation du compost (CEVA) Tri à la source
Tiflet*	62 900	30 tonnes/jour (totalité du gisement de la ville)	Tri-compostage CEVA Centre d'enfouissement technique des refus Renforcement d'une filière de récupération Assainissement de la forêt de Koréate
Oulmès	8 200	4 tonnes/jour	Tri-compostage Valorisation du compost Unité de recyclage notamment de plastiques Décharge contrôlée des refus

\* Travaux d'aménagement lancés officiellement par SAR la Princesse Lalla Hasna, le 31 mai 2000.

\*\* La plupart de ces composantes sont opérationnelles ou sont sur le point de l'être ; les dernières seront rendues opérationnelles avant août 2001.

### **2.2.1. Projet 1- Site de Bab Lamrissa à Salé**

La ville de Salé est située sur la rive droite du fleuve Bou Regreg qui la sépare de Rabat. Il s'agit d'une ville dortoir étant donnée la proportion importante de la population qui exerce à Rabat et qui réside à Salé.

Le climat de la région est de type humide tempéré à influence océanique. La hauteur des précipitations moyennes est de 600 mm/an. Les mois les plus pluvieux sont novembre, décembre, janvier et février. Les températures des mois les plus chauds varient de 25 à 30°C. La température hivernale est en moyenne de 10°C.

L'urbanisation a connu des phases rapides et particulièrement dans les zones périphériques. Les capacités de gestion de la collectivité n'ayant pas connues une augmentation équivalente, les aspects de collecte et de traitement sont devenus très problématiques pour la commune.

Sur un total de la Superficie Agricole Cultivable de 33 700 ha, les cultures maraîchères occupent une place importante (3 510 ha) particulièrement sur un rayon de 10 km autour du site de l'UTC. Plus de 70% des agriculteurs disposent d'une superficie moyenne inférieure à 5 ha. La région se caractérise par la présence de plusieurs pépinières en chapelet de part et d'autre de la route Rabat-Kénitra. Les sols sont en majorité sableux et relativement pauvres en matière organique.

### **2.2.2. *Projet 2- Site de Tiflet***

La ville de Tiflet se situe en bordure de la plaine du Gharb à 50 km à l'est de la capitale Rabat. Le développement urbain prend un caractère anarchique dans la direction de la forêt de Koréate. Celle-ci représente une composante importante du patrimoine naturel de la région. Avant la mise en œuvre du projet, cette forêt était le lieu de déversement systématique des déchets ménagers sur une superficie d'environ 280 hectares. Cette pratique a bien évidemment de graves impacts négatifs sur les composantes esthétiques et environnementales. Les terrains fracturés et le faible niveau piézométrique de la nappe constituent des facteurs de vulnérabilité de celle-ci et de détérioration de sa qualité par les lixiviats (jus liquides des déchets).

La population concernée par le projet est de l'ordre de 62 500 habitants. La quantité de déchets produite actuellement est d'environ 14 000 tonnes/an et s'élèvera, en 2010, à 17 250 tonnes/an.

Le climat de la zone est de type semi-aride à hiver tempéré. Les précipitations moyennes annuelles sont de l'ordre de 534 mm. La saison humide s'étale sur la période octobre-mai. La température des mois les plus chauds se situe entre 33 et 36°C. Les mois les plus froids (décembre, janvier et février) enregistrent une température minimale allant de 3 à 8°C.

Les sols sont peu à moyennement profonds, de texture dominée par la fraction limoneuse et sont relativement pauvres en matière organique.

La superficie agricole utile est de 80 500 ha dont 2 561 ha irrigués. La majeure proportion des agriculteurs ont moins de 5 ha. Les



principales cultures pratiquées sont : les céréales (70%), les cultures fourragères et l'arboriculture fruitière. Les cultures maraîchères occupent près de 5 300 ha, ce qui correspond à 7% de la superficie agricole cultivable.

### **2.2.3. *Projet 3- Site d'Oulmès***

Oulmès est située dans le centre-est de la province de Khémisset à 145 km au sud-est de Rabat et à une altitude de 1 250 m.

Le climat est de type sub-humide à hiver tempéré. La hauteur pluviométrique moyenne est de 750 mm/an avec une épaisseur moyenne de neige de 35 à 40 cm.

La population du chef lieu concerné par le projet est de 8 500 habitants dont plus de 90% travaillent directement ou indirectement dans le secteur agricole. Cette région se caractérise par l'existence de trois exploitations qui comptent parmi les plus grandes au Maroc, en l'occurrence celle de la Société ARBOR (très proche du site de l'UTC) spécialisée dans la production arboricole. Les sols sont relativement pauvres en matière organique.

Les déchets ménagers dans ce site d'Oulmès sont particulièrement caractérisés par la présence d'une grande masse de déchets plastiques en provenance d'une usine de confection de bouteilles plastiques située dans le périmètre de la commune. Cela nécessite une démarche d'étude spécifique sur les possibilités de traitement et/ou de recyclage. Cela aurait notamment pour avantage d'augmenter la durée de vie de la future décharge contrôlée et de stimuler éventuellement l'activité locale de récupération.

## **2.3. Composantes des trois projets UTC**

La figure 2.1 présente le schéma synoptique relatant les différentes composantes des trois projets UTC et traçant les voies de transfert et de transformations des déchets ménagers dès leur réception au niveau de l'UTC.

Il convient, toutefois, de préciser que ce schéma est valable, dans son ensemble, aux projets 2 et 3 (Tiflet et Oulmès). Celui de Sidi Moussa à Salé ne comprend pas les filières de recyclage et de

décharge contrôlée. Les déchets non compostables récupérés après l'opération de tri sont remis en chargement et transportés à la décharge publique de Salé.

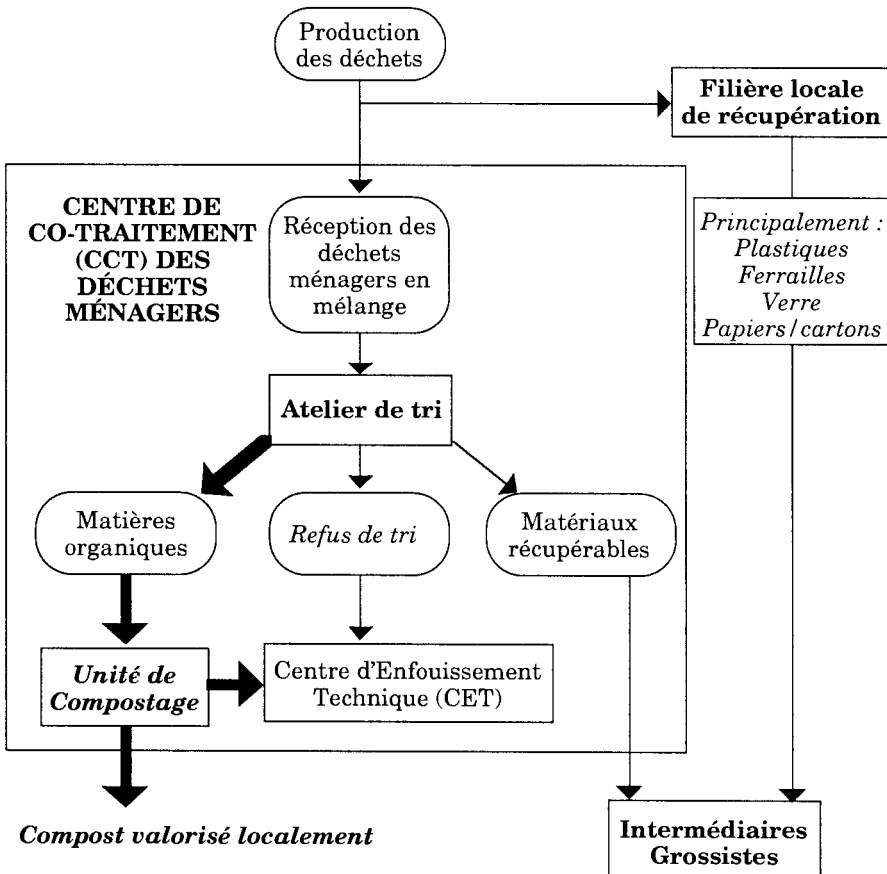


Figure 2.1. Schéma synoptique du système de gestion intégrée des déchets ménagers dans les sites de projets de Salé, Tiflet et Oulmès au Maroc

#### 2.4. Niveau technologique et coûts des UTC

La filière adoptée est le compostage en andains avec retournement pour garantir une fermentation aérobie. Le niveau technologique consiste en un système simple artisanal à faible coût, employant de la main-d'œuvre, et renforcée par deux ou trois composantes :

- un matériel simple pour garantir la qualité requise du compost ;
- un investissement initial léger en gros œuvre pour garantir la

- sécurité et la protection de l'environnement ;
- pour les projets de Tiflet et d'Oulmès, le perfectionnement local d'une andaineuse - retourneuse est prévu.

Dans le but de donner des ordres de grandeur sur les coûts requis pour la mise en place d'une unité de tri-compostage couplée à une décharge contrôlée et une possibilité de récupération, on se propose de rapporter dans les encadrés 2. 2 et 2. 3 les données relatives aux deux projets-pilotes en cours de réalisation à Oulmès et Tiflet.

**Encadré 2.2. Exemple de coût pour le niveau technologique simple dans le cas d'Oulmès : unité de tri-compostage**

Population concernée : 8 200 habitants en l'an 2000

Superficie de l'unité : 7 000 m<sup>2</sup>

Capacité actuelle : 4 t/j

- R1. Gros œuvre : nivellement, dalle de tri, aire de fermentation, hangar fossé d'évacuation, bassin de lixiviats, crible, bureau et local de rangement, local de groupe moto-pompe, vestimentaire)
- R2. Machinerie (broyeur et andaineuse – retourneuse\*)
- R3. Petit matériel (fourches, pelles, balais, tinettes pour évacuation de refus, équipement vestimentaire de protection (gants, combinaisons de travail, chaussures, bottes)
- R4. Coût de fonctionnement (main-d'œuvre, carburant, maintenance)

	Coûts
R1 .....	42 000 \$US
R2 .....	11 500 \$US
R3 .....	3 500 \$US
R4 .....	6 300 \$US
Coût total de production.....	9 730 \$US
Coût de revient rapporté aux déchets bruts (1440 t/an).....	7 \$/ t
Prix de vente du compost " économiquement rentable ".....	14 \$/ t
Prix total de vente (année de référence 2000).....	10 080 \$/an

\* Le retourneur d'andains est recommandé pour cette unité étant donné le volume relativement important de déchets (4 t/j). À moins de tonnes, on peut se contenter d'un retournement manuel avec des fourches et pelles.

**Encadré 2.3. Exemple de coût pour le niveau technologique simple dans le cas de Tiflet : couplage entre compostage-récupération-décharge contrôlée**

Population concernée : 62 000 habitants en l'an 2000

Superficie de l'Unité : UTC : 5 ha ; Décharge : 3 ha + 2 ha pour essais de pépinières permettant un équilibre financier)

Capacité actuelle : 30 t/j

- R1. Gros œuvre : nivellement, 2 tables de tri avec charpente, bassins de stockage des eaux pluviales et lixiviats, d'évacuation, bassin de lixiviats, crible, bureau et local de rangement, vestimentaire, clôture) + Aménagement géotechnique (terrassement, mise en place d'un dispositif d'étanchéité pour l'aire de fermentation et pour l'alvéole de décharge.
- R2. Renforcement de la filière de récupération
- R3. Machinerie (broyeur et andaineuse – retourneuse) et petit matériel (fourches, pelles, balais, tinettes pour évacuation de refus, équipement vestimentaire de protection (gants, combinaisons de travail, chaussures, bottes)
- R4. Coût de fonctionnement (main-d'œuvre, carburant, maintenance)

Coûts

R1 .....	205 000 \$US
R2 .....	10 000 \$US
R3 .....	15 000 \$US
R4 .....	(en cours d'évaluation)

En gros, le coût de production rapporté à la tonne de compost produit ne sera pas très différent du cas d'Oulmès. La charge initiale relative aux frais initiaux d'investissement (renforcement de l'unité de récupération, alvéole, etc.) est, par contre, élevée.

Le coût R1 inclut les contributions de la commune et des services régionaux (engins, approvisionnement en matériaux d'étanchéité,...)

La lecture des coûts rapportés dans les encadrés 2.2 et 2.3 devra tenir compte des éléments pondérants suivants :

- Les données chiffrées concernant les travaux d'implantation des centres (gros œuvre et équipement) correspondent exactement aux frais engagés. Ceux-ci sont toutefois fortement dépendants des contraintes imposées par le contexte géologique des sites d'implantation. De même, l'équipement des centres diffère en fonction de la capacité de traitement.
- Les indications relatives aux coûts de fonctionnement sont de nature évaluative et devront faire l'objet d'une précision lors des phases de gestion expérimentale des dits centres. En conséquence, les coûts indiqués ci-après ne constituent en rien des ratios utilisables pour une évaluation dans d'autres contextes. Ils peuvent toutefois être considérés comme des éléments de référence indicatifs des coûts des travaux engagés.

## COMPOSTAGE DE DÉCHETS MÉNAGERS

### 1. INTRODUCTION

Le présent chapitre a pour objectif essentiel de décrire, en termes simples accessibles aux cadres des communes, aux techniciens engagés dans les UTC et aux stagiaires, les avantages de compostage en tant que composante d'un système intégré de gestion des déchets et les principes de compostage. Les différentes opérations et interventions à effectuer avant, au cours et après le compostage seront succinctement décrites, commentées et soutenues par des conseils pratiques.

Les trois étapes clés qui feront l'objet de ce chapitre sont: le démarrage du processus, le monitoring du compostage et l'évaluation de la qualité requise pour le compost produit. Aussi, ce chapitre s'achèvera par des éléments de dimensionnement ainsi qu'une évaluation du temps requis pour les principales opérations du compostage.

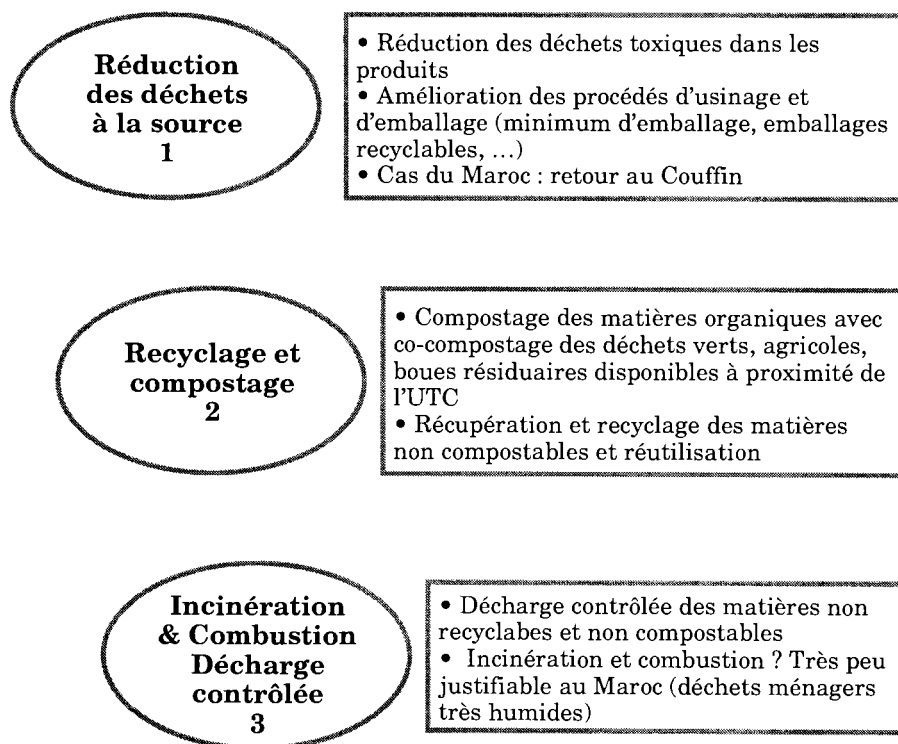
### 2. COMPOSTAGE

Le compostage est une alternative à part entière d'un système de gestion intégrée des déchets ménagers et assimilés (GID).

Le compostage est actuellement considéré comme une des composantes écologiquement durables dans un système de gestion intégrée des déchets ménagers.

La figure 3.1 donne la hiérarchisation des trois principales composantes de gestion intégrée des déchets :

- la réduction des déchets à la source ;
- le compostage des déchets fermentescibles ;
- le recyclage de la fraction des déchets non compostables avec mise en décharge contrôlée du refus ou son incinération.



**Figure 3.1. Hiérarchisation de GID (modifiée, inspirée et adaptée de la hiérarchisation préconisée par U.S EPA (1995))**

La filière de compostage se justifie pleinement dans les pays en développement. En effet, la fraction relative aux matières fermentescibles dans ces pays représente le double au quadruple de celle rencontrée dans les pays industrialisés (Tableau 3.1).

Une tonne de déchets ménagers comprend environ 700 kg de déchets compostables et 830 à 850 kg si on considère les papiers. Les matières recyclables représentent près de 200 à 300 kg par tonne. Dans les pays de l'Europe occidentale et aux États-Unis, la fraction des matières compostables ne dépasse guère les 350 kg/tonne de déchets. Les déchets ménagers au Maroc et dans d'autres pays en développement sont très humides (60 à 70%) ; leur pouvoir calorifique est de 900 à 1000 kcal/kg) contrairement aux pays industrialisés où les déchets ménagers se caractérisent par un taux de 40% de matières combustibles et par un taux d'humidité nettement plus faible (< 50%).

**Tableau 3.1. Composition des déchets ménagers bruts dans quelques pays**  
(d'après Murat, 1981 ; Hall *et al.*, 1993 ; OMS ; El M'ssari, 1993 ;  
Jemali *et al.* 1996a)

Paramètre (en %)	Maroc Rabat	Pologne Varsovie	Égypte	USA	France	Japon	RFA
Matières fermentescibles	69,8	30	68	5-18	15-35	30	15
Papier et carton	14	22	17	32-44	32-35	40	27,5
Verre	0,4	12	2	6,7	12	7	9
Plastique	2,6	5	1	8,3	10	8	3
Métaux	1,4	5	2	8,3	6	8	6,5
Textiles	4	4	2	4,6	2	4-	3,5
Divers (éléments fins, cendres, bois, etc.)	8	22	8	13,6	11.5	3	39

Les compositions indiquées dans ce tableau ne sont qu'indicatives. Les variations en fonction des saisons et des niveaux socio-économiques des populations sont considérables au sein d'un même pays et à travers les différents pays.

Cette grande variabilité de la composition des déchets ménagers illustre parfaitement la non existence d'une solution unique d'élimination et/ou de valorisation. Le tableau 3.2 relate la grande variabilité des valeurs de quelques caractéristiques clés des déchets ménagers bruts.

**Tableau 3.2. Variabilité de quelques paramètres caractéristiques des déchets ménagers** (d'après plusieurs sources)

Paramètres	Valeurs extrêmes
Production par habitant.....	0,2 – 3,0 kg/hab.j
Densité .....	100 - 500 kg/hab.j
Matières fermentescibles .....	5 - 90%
Papier et cartons.....	0,25 - 55%
Plastiques.....	0,1- 40%

En matière de gestion des déchets dans les pays en développement par rapport aux pays industrialisés, on doit tenir compte de trois critères:

- la quantité ;
- la qualité ;
- le niveau technologique de traitement.

En plus, il y a lieu de considérer certaines spécificités :

- le climat ;
- l'économie ;
- les caractéristiques des centres urbains et des communes ;
- les habitudes ;
- les exigences environnementales.

Ainsi, sur la base des considérations précédentes et notamment celles relatives à la qualité des déchets ménagers, on peut considérer que le compostage demeure une option écologiquement durable et économiquement attrayante. Il s'agit là dans la mesure de réduction des déchets étant donné où le compost est valorisé et lorsqu'on considère le taux de réduction du volume de déchets d'environ 50% au cours du processus de biodégradation.

Toutefois, l'adoption de la filière de compostage doit surmonter certains défis et anéantir certaines contraintes :

- Problème potentiel d'odeurs de déchets avant et au cours du compostage.
- Développement d'un marché de vente et élargissement de la liste des usagers potentiels.
- Manque de techniciens expérimentés dans le domaine auprès des communes.
- Absence de normes et de standards de qualité du compost.

### **3. FILIÈRES TECHNOLOGIQUES DE COMPOSTAGE**

Les procédés de compostage sont très variés et ont connu un progrès considérable ces dernières années. En effet, les niveaux technologiques vont depuis le compostage classique en tas à différents degrés de mécanisation jusqu'au compostage robotisé qui permet un contrôle et un monitoring automatisé en temps réel. Classiquement on distingue deux principaux systèmes de compostage (Encadré 3.1).

### **4. PRINCIPES DE COMPOSTAGE**

Le compostage consiste en une biodégradation aérobie (en présence d'oxygène) des déchets et résidus organiques. La décomposition est assurée par une diversité de micro-organismes. Le compostage aboutit à la formation d'un produit organique stable et riche en substances humiques appelé compost.



### Encadré 3.1. Systèmes de compostage

#### Compostage en tas

Il s'agit d'un système simple (à revoir dans les paragraphes suivants et dans le chapitre 5) qui consiste à mélanger des matières à composter et à les disposer en tas qu'on retourne de manière périodique pour assurer une aération et donc une fermentation aérobie et pour que toutes les parties du tas soient exposés aux hautes températures. Un ajustement de l'humidité est effectué au besoin par arrosage des tas.

#### Compostage en tas statique

Ce système est similaire à celui du compostage en tas avec la différence que les tas ne sont pas retournés et que l'air est acheminé par des tuyaux perforés traversant les tas. Ce système d'aération peut être passif (aération naturelle) ou actif où l'air est insufflé par succion. Les tas sont couverts par une couche de compost fini d'environ 5 cm d'épaisseur

Il s'agit d'un processus à la fois consommateur et producteur de chaleur. La biodégradation génère une déperdition d'eau, une production de  $\text{CO}_2$  (Figure 3.2). Ceci se solde par une réduction de volume qui peut atteindre 50% du volume initial de déchets mis en compostage. Le compost produit, assez riche en substances humiques, constitue un excellent produit d'amendement des sols. Il permet à la fois d'améliorer les propriétés du sol et de fournir par voie de minéralisation des éléments nutritifs assimilables par la plante cultivée (Figure 3.2).

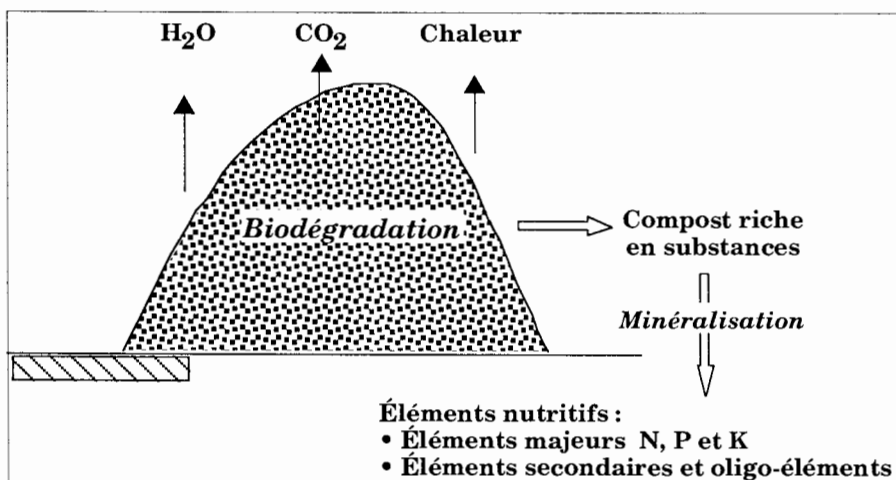


Figure 3.2. Schéma du principe de compostage

## 4.2. Facteurs et paramètres de compostage

On distingue trois catégories :

- Les paramètres de démarrage du compostage : C/N des matières à composter, humidité, taille des particules, fermentescibilité , etc.
- Les paramètres de monitoring ou de suivi du processus de compostage : humidité, température et oxygène lacunaire (aération).
- Les paramètres de qualité du compost produit.

La signification et les mesures de contrôle de ces différents paramètres seront exposées dans les paragraphes suivants.

### 4.2.1. *Tri des ordures ménagères*

Le tri des ordures ménagères peut être effectué à la source ou après collecte et livraison à l'UTC. Le tri à la source constitue une pratique à promouvoir. En effet, la livraison des déchets composites à l'UTC génère un surcoût et risque de porter préjudice à la qualité du compost fini lorsque l'opération de tri n'est pas bien achevée.

Ainsi, l'opération du tri à la source (au niveau des ménages) offre plusieurs avantages dans la mesure où elle permet de :

- Réduire le nombre de jours de travail investi dans l'opération de tri au niveau de l'UTC.
- Réduire le taux de contaminants organiques et particulièrement les métaux lourds (qui proviennent des peintures, des piles électriques ou circuits électroniques, des batteries et accumulateurs, des peintures et vernis, des produits de nettoyage et de lessives,...).
- Permettre d'instaurer une éducation des ménages pour les sensibiliser à la réduction de la quantité des déchets.

Toutefois, quelques inconvénients sont à souligner et méritent d'être gérés :

- Augmentation du coût de collecte pour la commune .
- Les ménages sont appelés à acheter de nouveaux containers. Dans une première étape, deux sont suffisants (un pour les matières compostables et un pour les autres matières) dans les petites et moyennes communes au Maroc ou dans des pays similaires. Le

- coût d'achat peut être pris en charge par la commune ou encore de manière partagée en fonction du contexte socio-économique local.
- Le tri à la source exige au départ un grand effort de sensibilisation.

Dans le cas où le tri à la source n'est pas instauré, cette opération devient obligatoire comme traitement préalable des déchets avant d'amorcer le compostage proprement dit. Elle permet de séparer les matières compostables du reste. Celui-ci est constitué de matières récupérables et recyclables (cartons, plastiques, verre, etc.) et de matières non recyclables qui seront acheminées vers une décharge contrôlée. Une précaution particulière doit être prise lorsqu'il s'agit de certains déchets compostables provenant des quartiers industriels et qui peuvent contenir des quantités appréciables de métaux lourds.

Le recyclage des matières récupérées exige la mise en place d'une unité parallèle de traitements simples : lavage du verre, mise en balle des papiers, nettoyage de métaux et des plastiques, etc. Une étude du marché serait nécessaire avant l'implantation de cette unité parallèle.

Dans les unités de compostage à petite échelle, le tri peut se faire manuellement. Si les volumes de déchets deviennent importants on procède à un triage mécanique basé sur des techniques variées :

- Tri par criblage qui sépare les matériaux criblés et non criblés.
- Tri pneumatique par jet qui sépare les matériaux légers des matériaux lourds.
- Tri magnétique ferromagnétique à faible densité qui sépare les métaux ferreux et non ferreux.
- Tri électrostatique qui sépare les produits organiques des non organiques.
- Tri par tension qui sépare les papiers des plastiques.
- Tri optico - électronique qui sépare les verres colorés des verres blancs.
- Tri par flottaison qui sépare les verres des céramiques - sables et pierres.

#### **4.2.2. Taille des particules organiques**

La taille des matières à composter est un facteur important qui détermine la vitesse de biodégradabilité. En effet, lorsque les particules sont petites, la surface spécifique (exprimé en  $m^2/g$ )

devient importante ce qui augmente la surface d'attaque par les micro-organismes. Toutefois, si les particules sont trop petites, l'espace poral est réduit ce qui entrave la circulation de l'air dans le tas en compostage. Ce problème est d'autant plus important que l'humidité est élevée comme c'est le cas des déchets dans les pays en développement.

En plus de ces deux facteurs, il est parfois obligatoire d'ajuster les paramètres C/N et humidité s'ils s'avèrent non propices au démarrage du processus de compostage. Cet aspect sera traité plus loin (*Cf. paragraphe 4.6*).

### **4.2.3. Rapport C/N**

Dans le compost, les micro-organismes ont besoin d'éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium et oligo-éléments) comme les plantes supérieures mais avec une différence majeure due au fait les micro-organismes du compost exigent du carbone organique comme source d'énergie au lieu du gaz carbonique et la lumière pour les végétaux.

Le rapport C/N idéal des déchets qui garantit un bon démarrage du compostage et son déroulement optimal doit être situé entre 25 et 35 (Gootas, 1959 ; US-EPA, 1985 ; Mustin, 1987). S'il est trop élevé, le temps requis pour la biodégradation devient plus long et s'il est faible, l'azote est, en grande partie, perdu sous forme d'ammoniac par voie de volatilisation.

Le carbone et l'azote sont analysés au laboratoire. Toutefois, un opérateur expérimenté peut émettre une appréciation visuelle globale des richesses relatives des matières premières en carbone et en azote en se basant sur la reconnaissance de leur nature et leur couleur.

À titre d'exemple, on peut citer :

- Les matières organiques riches en carbone : papier, sciure de bois, paille et toute matière cellulosique ou ligneuse.
- Les matières organiques riches en azote : déjections animales, épiluchures, restes de nourriture, tontes de gazon, algues marines, poudre de sang, déchets d'abattoir, détritrus de poissons, certaines boues résiduaires, etc.

- En général, les matières brunes et sèches sont riches en carbone et les matières vertes et humides sont riches en azote.

Lorsque les déchets ménagers ont un rapport C/N faible, on peut ajouter des matières riches en carbone du type copeaux de bois, sciure ou autres matières à base de cellulose ou de lignine. Ces additifs peuvent aussi jouer le rôle d'agents structuraux permettant d'aérer le tas de compost et de régulariser son humidité.

Le tableau 3.3 donne des ordres de grandeur de rapports C/N de quelques matières organiques. D'autres additifs ou matières premières peuvent être utilisées pour enrichir le compost en éléments nutritifs majeurs et en oligo-éléments.

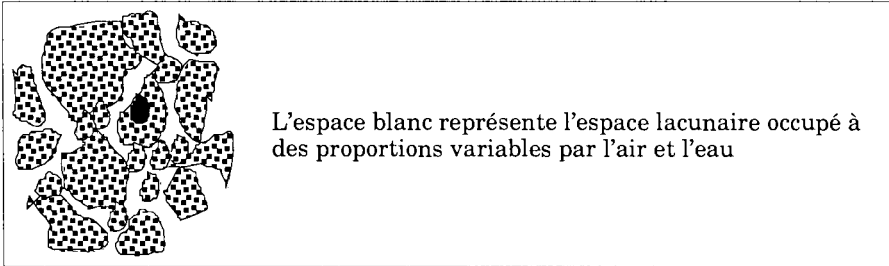
**Tableau 3.3. Teneurs approximatives en azote et rapport C/N de quelques matières organiques compostables**  
(Gootas, 1959 ; US-EPA, 1985 ; Mustin, 1987)

Matières	C/N
Ordures ménagères brutes.....	15-25
Sang.....	3
Débris de poissons.....	-
Boues activées.....	6
Gazon coupé.....	12
Chiendent.....	19
Herbe coupée (moyenne de toutes catégories).....	19
Fumiers bovin et ovin de ferme (moyenne).....	12-14
Fientes de volailles.....	8-10
Carcasses de poulets.....	5
Résidus d'abattoirs mélangés.....	3
Fumier de cheval.....	30
Fanes de pomme de terre.....	26
Paille des céréales.....	90-120
Sciure fraîche de bois.....	511
Sciure pourrie de bois.....	208
Écorces de bois.....	220-490
Engrais verts.....	10
Algues marines.....	17
Marc de café.....	20
Papiers et cartons mélangés.....	120-170
Déchets de légumes.....	11-12

#### 4.2.4. Teneur en eau ou humidité

Dans un tas de déchets en compostage on distingue trois phases (Figure 3.3) :

- phase solide représentée par l'équivalent de la matière sèche ;
- phase liquide ou eau du compost ;
- phase gazeuse ou air du compost.



**Figure 3.3. Particules du compost**

Les phases liquide et gazeuse occupent ce qu'on appelle l'espace lacunaire ou poral du tas en compostage. Les volumes occupés par ces deux phases sont variables. En effet, lorsque les déchets sont trop humides, l'espace occupé par l'air est faible ce qui entrave la biodégradation aérobie et entraîne la production de mauvaises odeurs.

La teneur en eau est un facteur important pour l'activité des micro-organismes. Dans la pratique, il convient d'éviter une forte humidité car l'excès d'eau chasse l'air de l'espace lacunaire du tas en compostage ce qui déclenche des conditions d'anaérobiose et une très mauvaise circulation d'air à l'intérieur du tas. Ce phénomène est assez fréquent lorsque les déchets contiennent des matériaux mouillés et peu résistants à la biodégradation comme le papier. Aussi, une teneur en eau faible, inférieure à 50% du poids frais, ralentit de manière significative l'activité biologique.

Durant le compostage on assiste à la fois à la production d'eau par les réactions biochimiques de biodégradation des matières organiques et à une perte d'eau par évaporation.

En conditions chaudes, on peut assister, et particulièrement durant la dernière phase de compostage des déchets ménagers, à un

dessèchement. On estime un besoin en eau d'environ 0,3 m<sup>3</sup> par tonne qui doit être satisfait par un ou deux arrosages. Un ombrage des tas et la plantation des brise-vents sont des pratiques recommandées. Pour cela, le compostage doit être toujours conduit à proximité immédiate d'une source d'eau.

La teneur en eau optimale pour le processus de compostage est comprise entre 50 et 60%. Les conditions d'anaérobiose généralisées ou localisées commencent à se produire au delà de 65-70%.

On peut apprécier l'humidité en pressant entre les mains (avec des gants) un échantillon ; si l'eau percole facilement, le tas de compost est trop humide. Par contre, si l'eau humidifie la main sans percoler, le tas est à niveau acceptable d'humidité.

Lorsqu'on dispose d'une balance et d'une étuve ou lorsqu'on livre l'échantillon au laboratoire, on peut utiliser la méthode classique de mesure gravimétrique de l'humidité. Cette méthode consiste à sécher pendant 24 heures et à 70°C un échantillon de compost frais de masse MF. Après étuvage, on pèse la masse sèche (MS). Le calcul peut se faire de deux manières selon l'objectif de la mesure :

- Si on veut utiliser cette mesure comme base de calcul des autres paramètres chimiques ou physiques, on exprime la teneur en eau par rapport au poids sec. Dans ce cas la formule de calcul est la suivante :

$$\text{Teneur en eau (\% poids sec)} = 100 \frac{(MF - MS)}{MS}$$

- Si on veut avoir une humidité actuelle au cours du compostage pour pouvoir juger les conditions de déroulement du processus (faut-il arroser ou faut-il retourner ?), on exprime l'humidité par rapport au poids frais en adoptant la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau (\% poids frais)} = 100 \frac{(MF - MS)}{MF}$$

#### 4.2.5. *Température*

La température est un facteur important du compostage. Tous les micro-organismes ont une fourchette optimale d'activité :

- Températures inférieures à 20°C pour les psychrophiles.
- Températures comprises entre 20 et 40°C pour les mésophiles.
- Températures comprises entre 40 et 70°C pour les thermophiles.

La fourchette des températures requise pour les micro-organismes thermophiles est préférée. Ceci a deux avantages majeurs : l'accélération du processus de décomposition et l'assainissement du compost par suppression des germes pathogènes.

En effet, au cours du compostage il y a assainissement des matières organiques et, par conséquent, la suppression de tous les pathogènes humains et les phytopathogènes qui se trouvent dans les matières organiques fraîches comme le fumier ou les déchets ménagers.

La littérature internationale rapporte plusieurs travaux conduits dans ce domaine notamment (Bolen, 1984 ; Dural, 1992 ; Miliner & Ringer, 1995 ; Sances & Ingham, 2000). Les constats et résultats rapportés par ces travaux sont unanimes sur le fait que le compostage et l'utilisation du compost comme produit d'amendement organique du sol permettent l'élimination de plusieurs organismes : les champignons, les bactéries, les nématodes et certains virus.

Par exemple, les champignons, assez connus par leurs dégâts en horticulture, sont très vulnérables au compostage. Même les organismes qui forment des sclérotés et qui sont réputés résistants et très persistants dans le sol sont détruits (ex: *Sclerotium cepivorum*, *Stromatina gladioli*, *Verticillium dahliae*).

Les bactéries sont aussi facilement détruites par le compostage. Les nématodes sont entièrement éliminés lorsqu'ils sont exposés au moins une heure à 50°C. Or, la température atteint, pendant au moins une semaine, des valeurs comprises entre 65 et 70°C pendant la phase thermophile du compostage ce qui rend impossible la survie des nématodes lorsque le compostage se déroule en bonnes conditions.

Les virus, réputés plus résistants à la température, sont partiellement inactivés après six semaines sous une température allant de 50°C à 60°C. Toutefois, les études dans ce domaine ont montré une forte réduction des virus infectieux après le compostage.

Le temps requis pour la destruction de quelques germes pathogènes représentatifs à une température de 60°C varie d'un organisme à l'autre (Tableau 3.4).

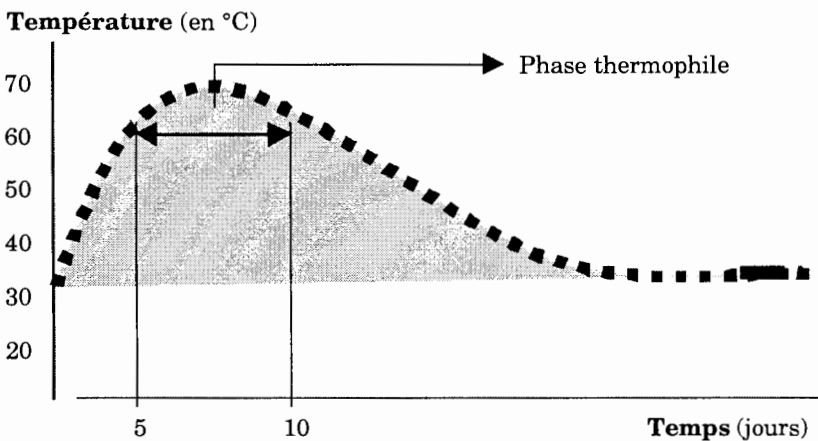


**Tableau 3.4. Temps requis pour la destruction des germes pathogènes représentatifs à une température de 60°C**

Micro-organisme	Valeur D* (minutes à 60°C)
Adénovirus .....	0,15
Œufs d'Ascaris .....	1,3
Poliovirus .....	1,5
Staphylocoques .....	3,3
Salmonelles .....	7,5

\* D'après US-EPA, 1985. D : temps nécessaire pour assurer une destruction log 10 d'un micro-organismespécifique à une température donnée.

Au total, la destruction des pathogènes exigera une exposition de toutes les parties du tas à une température autour de 55°C pendant au moins 3 jours. De préférence, une durée de 5 jours sous une température de 55°C est souhaitable. Il est important d'empêcher une surélévation de la température à plus de 65°C pour éviter une inhibition de l'activité de micro-organismes décomposeurs. Les meilleurs résultats sont obtenus à une température voisine de 60°C. Après la phase d'assainissement thermique, on doit éviter tout contact du compost avec les déchets ménagers frais ou d'autres sources de contamination. La figure 3.4 illustre l'allure de l'évolution théorique de la température.



**Figure 3.4. Allure théorique de l'évolution de la température au cours du compostage**

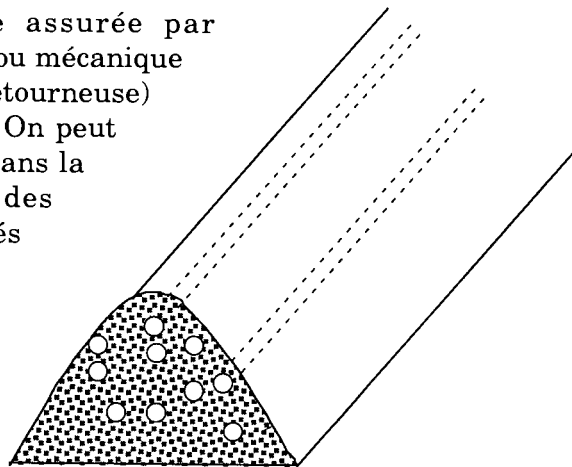
Des courbes variables peuvent être expérimentalement obtenues suivant la nature des déchets, la température ambiante, le degré d'humidité, le vent et le degré de circulation de l'air dans le tas (voir plus loin la figure 3.6). D'autre part, la température varie d'un point à l'autre du tas.

Pour le suivi de la température, il est recommandé d'effectuer au moins quatre mesures de températures dans les deux côtés latéraux du tas et à deux profondeurs : 15-25 cm et 40-50 cm. Il existe sur le marché des thermomètres à sondes métalliques longues qui permettent de mesurer la température aux profondeurs indiquées. La température est généralement plus élevée dans la position centrale des tas en compostage par rapport aux zones périphériques.

#### 4.2.6. *Aération*

Parler de l'aération revient à parler de l'humidité. En effet, comme il a été précisé auparavant, l'humidité est en interaction négative avec l'aération dans la mesure où l'augmentation de la teneur en eau réduit la part de l'espace lacunaire remplie d'air. Aussi, un apport d'air aux tas en compostage est nécessaire pour fournir l'oxygène aux organismes décomposeurs et pour remplacer le gaz carbonique produit par biodégradation: le compostage est un processus aérobique.

L'aération peut être assurée par retournement, manuel ou mécanique (par une andaineuse -retourneuse) des tas de compostage. On peut aussi, comme indiqué dans la figure 3.5 implanter des tuyaux en PVC perforés dans la section du tas pour permettre une aération continue du tas.

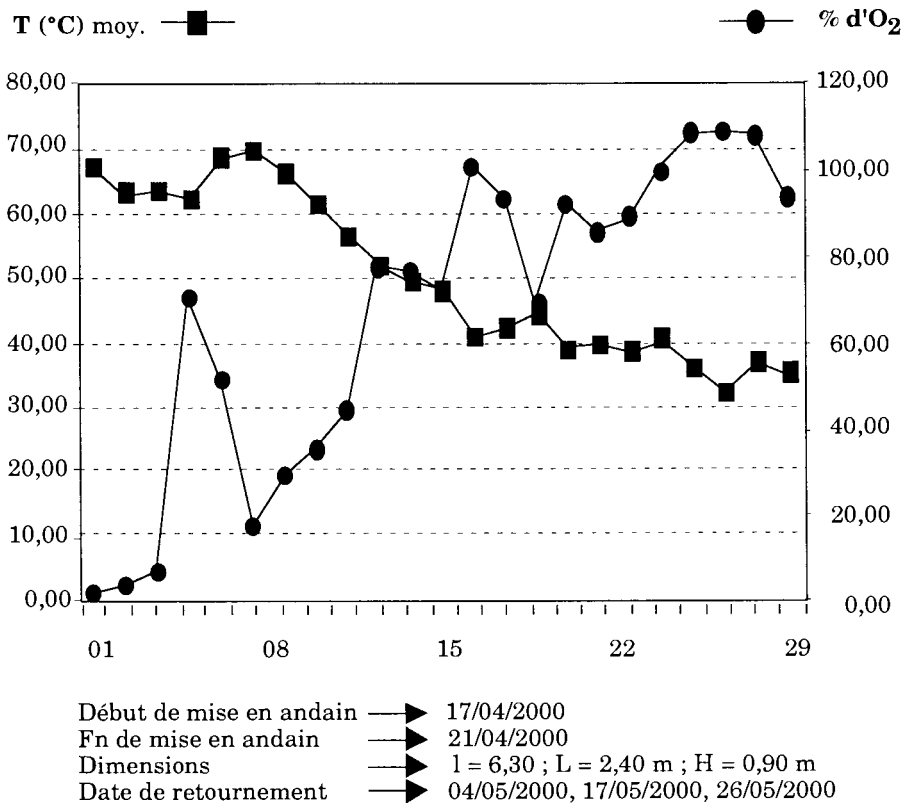


**Figure 3.5. Batterie de tuyaux d'aération plantés dans le tas en compostage**

Une proportion de 10 à 15% d'oxygène lacunaire est considérée adéquate. Un taux élevé d'oxygène dans le tas en compostage indique une forte circulation d'air qui induit une perte de chaleur qui se traduit par une diminution de la température et donc un refroidissement du tas. Une forte circulation d'air favorise également l'évaporation et donc une chute des teneurs en eau.

En plus de ces inconvénients entravant le processus et qui sont tributaires à une sur - aération, un retournement trop fréquent induit également un surcoût en main-d'œuvre et/ou en énergie.

Un exemple d'évolution des deux paramètres température et oxygène lacunaire, issu de la campagne expérimentale réalisée dans l'UTC de Salé, est illustré par la figure 3.6.



**Figure 3.6. Évolution des paramètres: température et oxygène lacunaire dans un tas en compostage**

(D'après les résultats de suivi de l'UTC de Bab Lamrissa, Salé, Maroc)

#### **4.2.7. pH**

Le pH est un facteur important qui conditionne la biodisponibilité des éléments nutritifs pour les micro-organismes, la solubilité des métaux lourds ainsi que la plupart des réactions biochimiques.

Le processus lui-même de compostage modifie le pH et particulièrement pendant les premiers jours où on assiste à une légère acidification attribuée à la production d'acides organiques notamment l'acide carbonique (eau + gaz carbonique).

Après quelques jours, on assiste à une légère alcalinisation suite à la libération d'ammoniaque par le processus d'ammonification des protéines. De manière générale, le pH ne mérite pas une intervention particulière si les autres conditions sont maîtrisées.

#### **4.3. Éléments pratiques de contrôle des facteurs abiotiques**

Les encadrés 3.2 et 3.3 relatent quelques recommandations pratiques relatives au contrôle des facteurs abiotiques : humidité, température et aération au cours du processus de compostage.

Ces conseils sont issus des expériences acquises dans ce domaine dans le cadre des essais conduits à Marrakech (Soudi & Jemali (1996) ; Hommani (1999) et à Salé (ENDA-Maghreb).

Les unités de compostage peuvent calibrer leur procédé en tenant compte des variations saisonnières des déchets ménagers par des campagnes de suivi qui peuvent être réalisées par un conseiller. Ce calibrage doit se solder par une fiche technique facile à suivre par un agent responsable de l'unité. Cette fiche porte également le calendrier des différentes interventions.

#### **4.4. Impact des conditions du milieu**

On peut dire que, globalement, les facteurs climatiques influencent très modérément le déroulement du processus de compostage. Toutefois, on peut noter que certains facteurs peuvent avoir des effets significatifs sur le déroulement du processus de compostage.

### **Encadré 3.2. Interrelations de la trilogie humidité - température - aération**

Des interrelations étroites sont à considérer entre les facteurs Humidité, Température et Aération (HTA). Dans une unité de niveau technologique simple (non ou semi-mécanisée), deux interventions importantes permettront de gérer la trilogie HTA :

Un tas trop humide (humidité ente 60 et 70%) doit être retourné 4 à 5 fois tous les deux jours et la fréquence de retournement n'est que de 3 à 4 fois tous les 3 jours si l'humidité est comprise entre 40 et 60%.

- Si l'humidité initiale des déchets excède les 70%, un retournement de rabattement doit être effectué tous les jours pour aérer le tas et éviter des conditions d'anaérobiose génératrices de mauvaises odeurs.
- Si l'humidité descend à moins de 30%, il conviendrait d'arroser les tas.
- Si la température baisse durant les 15 premiers jours du compostage, il est recommandé de retourner le tas pour assurer l'aération et donc activer la biodégradation.

On trouve actuellement sur le marché des sondes et autres instruments permettant de suivre la température, l'humidité et le taux d'oxygène lacunaire.

### **Encadré 3.3. Conseils pratiques d'après des expérimentations locales conduites à petite échelle à l'UTOM de Salé (Jemali *et al.*, 1996b)**

Les conseils suivants permettent d'avoir un niveau minimum requis pour la maîtrise du processus de compostage :

- Former des andains selon les dimensions indiquées (Chapitre 4 au § 2.2).
- Retourner les andains pour les aérer tous les 3 à 7 jours (exemple le 2<sup>ème</sup>, 6<sup>ème</sup>, 10<sup>ème</sup>, 14<sup>ème</sup> et 18<sup>ème</sup> jour) ;
- Veiller, au moment du retournement, à placer les couches superficielles du tas au centre du nouveau tas pour permettre à toutes les particules de subir une température élevée ;
- Arroser modérément le tas au moment du retournement et particulièrement à partir de la seconde semaine de la phase active de compostage ;
- Continuer ces interventions sur une période minimale de 3 semaines jusqu'à stabilisation de la chute de température. Ceci indique la fin de la phase active du processus de compostage ;
- Si la température augmente au delà du seuil admissible (65-68°C), augmenter le nombre de retournements ;

- À la fin de l'opération du compostage proprement dit, procéder au criblage manuel ou mécanique pour éliminer les fractions grossières et déplacer les tas vers l'aire de maturation ;
- Garder les tas en maturation pendant une période minimale d'un mois. Des retournements occasionnels des tas en maturation sont recommandés, mais ne sont pas obligatoires.

Le tableau 3.5 montre les principaux facteurs de perturbation, leurs effets générés et les interventions permettant d'atténuer leurs impacts néfastes.

Ces interventions sont recommandées particulièrement pour les unités modestes du type artisanal. En effet, un certain nombre d'effets peuvent être anéantis moyennant des aménagements simples, adéquats et peu coûteux.

#### **4.5. Vitesse du déroulement du processus du compostage**

La vitesse du processus de compostage dépend des paramètres : C/N, humidité, taille des particules et aération.

Ainsi, comme il a été signalé auparavant, une humidité et une aération optimales ainsi qu'un C/N compris entre 25 et 30 (ni trop faible pour éviter des pertes d'azote, ni trop élevé pour éviter un temps long d'oxydation du carbone) permettent d'augmenter la vitesse du processus.

On peut considérer, en général, que des tas de déchets ménagers souvent retournés requièrent une trentaine de jours pour achever la phase de fermentation aérobique.

#### **4.6. Ajustement des principaux paramètres de démarrage**

Comme il a été exposé plus haut, le déroulement optimal du processus de compostage nécessite l'ajustement d'un certain nombre de paramètres initiaux dont les plus importants sont l'humidité et le rapport C/N (voir encadré 3.4).

**Tableau 3.5. Effets des facteurs climatiques et modalités d'intervention**

Facteur	Effets	Que faire ?
Excès de froid	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Refroidissement des couches superficielles du tas de compost et perte croissante de chaleur Ceci a pour conséquence la réduction de l'activité biologique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Éviter un retournement fréquent pour ne pas ralentir la reprise de température en profondeur</li> </ul>
Forte pluie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation excessive d'humidité</li> <li>• Diminution du taux d'oxygène dans l'espace lacunaire et développement des conditions d'anaérobiose</li> <li>• Émanation de mauvaises odeurs</li> <li>• Lixiviation des éléments nutritifs notamment les nitrates</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adopter une forme arrondie des tas pour permettre le ruissellement en surface</li> <li>• Retourner les tas</li> <li>• Couvrir le tas par une bâche spéciale (actuellement commercialisée) qui permet l'échange gazeux mais pas la pénétration de l'eau</li> <li>• Installer des abris en hauteur</li> </ul>
Vent fort	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmentation du pouvoir évaporateur et dessèchement du tas si les espaces lacunaires soit perpendiculaire à la direction du vent dominant circulation de l'air chaud</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planter des brise-vents autour de l'aire de compostage</li> <li>• Déposer les tas de manière à ce que la longueur ménagent une forte porosité permettant la</li> <li>• Arroser les tas</li> </ul>
Chaleur		

**Encadré 3.4. Exemple numérique de réajustement de la teneur en eau et du rapport C/N** (inspiré et adapté de la démarche rapportée *In On-farming Composting Handbook, NRAES, 1992*)

Données générales du problème

On dispose de déchets ménagers ayant une teneur en eau de 70%, une teneur en azote de 2,5% et un C/N de 15. On se propose de réajuster à leurs valeurs optimales les paramètres teneur en eau (TE) et C/N. Pour cela, on dispose à proximité de sciure fraîche de bois (sfb) et de paille (p) (celle-ci est prise juste pour l'exemple car il s'agit d'une denrée difficile à justifier économiquement comme ingrédient dans les zones souffrant de sécheresse ; il s'agit en priorité d'un aliment de bétail par excellence). Il ne faut pas que la tonne de paille soit plus chère que la valeur du compost)

Le C/N de sfb est de 500, sa teneur en azote est de 0,11% et sa TE est de 35%

Le C/N de la paille est de 120, sa teneur en azote est de 0,37% et sa TE de 15%

**Étape 1. Ajustement de la teneur en eau à 60 %**

1 tonne (T) de déchets ménagers (dm) contient :

Masse de l'eau ..... 1 t x 0,70 = 0,7 t

Matière sèche ..... 1 t - 0,7 = 0,3 t

Azote ..... 0,3 x 0,25 = 0,00750 t

Carbone ..... 0,00750 x 15 = 0,1125 t

1 tonne (T) de sciure fraîche de bois (sfb) contient :

Masse de l'eau ..... 1 t x 0,35 = 0,35 t

Matière sèche ..... 1 t - 0,35 = 0,65 t

Azote ..... 0,0011 x 0,65 = 0,00072 t

Carbone ..... 0,00072 x 500 = 0,36 t

TE (%) = (masse de l'eau de DM + masse de l'eau de SFB) / masse totale

TE (%) = 60% = 0,60 = [ 0,7 + (0,35 x Msfb) ] / 1 + Msfb

Msfb : la masse de sciure fraîche de bois (en tonnes) requise pour l'ajustement de la teneur en eau.

0,6 (1 + Msfb) = 0,7 + (0,35 x Msfb) ce qui donne : Msfb = 0,4 t

**Étape 2. Vérification du C/N résultant de l'addition de la sciure de bois**

(C/N) du mélange = (Cdm + Csfb) / (Ndm + Nsfb)

Application numérique

(C/N) du mélange = [ 0,1125 (0,4 x 0,36) ] / [ 0,00750 + (0,4 x 0,00072) ]

(C/N) du mélange = 32,9 soit un C/N de 30 (acceptable).

**Étape 3. Que faire dans le cas où le C/N obtenu suite à l'addition de sfb serait inférieur à l'optimum (C/N de 20 par exemple au lieu de 30)?**

Si on dispose d'un autre matériel riche en carbone et de teneur en eau faible, pour le cas de notre exemple, on dispose de la paille.

Soit un (C/N) de 30 recherché après mélange et M la masse totale (Mdm + Msfb + Mp), quelle est la masse de paille (Mp) à ajouter pour ajuster le C/N ?

Masse du premier mélange (dm et sfb) x 15 + Mp x Cp/Np = M x (C/N)<sub>r</sub>

(1 + 0,4) x 15 + (Mp x 120) = (1 + 0,4 + Mp) x 30, ce qui donne Mp = 0,23t

**Étape 4. Vérification du TE même si on a ajouté un matériel de faible de teneur en eau**

TE (%) = (masse de l'eau de dm + masse de l'eau de sfb + masse de l'eau de p) / masse totale

Ceci donne : TE final de 54% (C'est acceptable).



**Remarques**

1. Cet exemple vise l'illustration de la démarche de calcul. Les résultats numériques ne sont pas à considérer
2. Ce calcul peut être automatisé (méthode d'optimisation du mélange basée sur les valeurs initiales des paramètres C/N et TE des matières premières et sur les contraintes : valeurs optimales, disponibilités des matériaux et coûts incluant le transport, le coût d'opportunité (exemple : la paille ne peut être utilisée dans des pays à faible rendement céréalier et à grand besoin en alimentation de bétail).

Dans des conditions particulières, d'autres mélanges peuvent être adoptés pour diminuer (par un effet de dilution) la concentration d'un métal lourd dominant ou pour l'enrichissement du produit final par des oligo-éléments qui se sont chélatés aux substances humiques et forment un complexe organo-oligo-minéral fournissant ces micronutriments de manière progressive et empêchant ainsi leurs effets potentiels de phyto-toxicité.

**4.7. Maturation du compost**

Après la phase de fermentation en tas aérés par retournement, une fraction significative des matières organiques dégradables est décomposée. Ceci se solde par une perte de poids significative (près de 50% de volume). Les matières organiques restant après cette première phase se décomposent lentement. L'activité microbienne continue à faible intensité. Cette seconde phase, appelée phase de maturation, prend quelques semaines à 6 mois selon les conditions abiotiques externes et selon les spécifications du produit à commercialiser. Comme on le verra plus loin au paragraphe réservé aux paramètres de qualité du produit final (§ 4.9), le degré de maturation dépendra des types d'usage.

Durant la phase de maturation, la température atteint une température inférieure à 45 °C et se stabilise autour de 30°C. Ceci témoigne d'une réduction de l'activité biologique à cause du faible niveau d'humidité, du taux d'oxygène inadéquat et du déséquilibre nutritionnel des micro-organismes. Des retournements occasionnels sont recommandés.

Après la maturation, le compost est préparé pour la commercialisation. Les opérations de criblage et de broyage permettent d'augmenter la valeur commerciale du compost, mais aussi d'améliorer sa biodégradabilité, une fois incorporé au sol.

## 4.8. Bilan de masse

Sur la base de la composition des déchets ménagers et particulièrement leur teneur en matières compostables, il est possible d'estimer la masse ou le volume du compost qu'on peut produire à partir des déchets ménagers bruts.

Un exemple de bilan de masse pour le cas des déchets ménagers au Maroc (cas des petites et moyennes communes) est rapporté dans l'encadré 3.5.

### **Encadré 3.5. Bilan de masse du compostage dans les petites et moyennes communes**

Une tonne de déchets ménagers bruts contient près de 800 Kg de matières compostables à 60% d'humidité.

Refus = 200 kg

Pertes de masse :

- Une perte d'environ 45% est attribuée à la phase active du processus de compostage soit 440 kg restants à environ 30% d'humidité
- Une perte d'environ 5% est attribuée au criblage et à la phase de maturation

Le poids du compost final est de : 400 kg soit 50% du poids total des matières compostables et 40% du poids livré d'une tonne.

Le compost final a une teneur en eau d'environ 25%

Une commune d'une population de 17 000 habitants produirait en moyenne 10 tonnes/jour qui généreront près de 4 tonnes de compost par jour soit 1460 tonnes/an.

Pour convertir le tonnage en volume exprimé en  $m^3$ , on utilise une densité de 250 à 350  $kg/m^3$  (soit un volume de 2,8 à 4  $m^3$  pour chaque tonne)

## 4.9. Paramètres de qualité du compost

### 4.9.1. Paramètres physiques et chimiques

Les paramètres de qualité du compost se basent sur un certain nombre de normes assez variables d'un pays à l'autre. Toutefois, ces normes convergent vers un objectif unique :

*Produire un compost qu'on peut valoriser sans générer des impacts négatifs sur la qualité de l'environnement et la santé humaine et animale.*

La liste des paramètres de qualité et leurs normes respectives sélectionnées dans la littérature internationale sont regroupées dans les tableaux 3.6 et 3.7.

**Tableau 3.6. Normes de qualité du compost final**

(Normes reprises de différentes références : US-EPA (1995) adaptée de Rynk *et al.* On farm composting Handbook (1992) (NRAES-54), US-EPA (1995) et normes canadiennes rapportées par Blanchette & Côté (1998))

Paramètre	Valeur/fourchette /appréciation			Observations	
pH	5,0- 7,6			Si la culture exige un pH > 6,5, on pratique la technique de chaulage à condition que la Conductivité électrique n'excède pas 30 mmhos/cm	
Humidité (en% du poids frais)	< 40			Il s'agit de la teneur en eau du produit final	
Matière organique (%)	30 - 50			Un niveau plus élevé indique un C/N plus élevé	
Rapport C/N	12-15				
Taille des particules (en mm)	G*	M*	F*	Taille optimale entre 7 et 13 mm (US-EPA, 1995)	
	< 30	< 20	< 10		
Couleur	Brun foncé à noire			Critère seul insuffisant	
Odeur	Odeur de terre humidifiée				
Salinité (CE en mmhos/cm)	2 - 5			Une concentration saline relativement plus élevée peut être autorisée pour le cas d'amendement du sol	
N-NO <sub>3</sub> /N-NH <sub>4</sub>	> 2			Indicateur de maturité	
Taux de consommation d'oxygène (mgO <sub>2</sub> /kg.heure)	150 - 200			Indicateur de maturité	
Corps étrangers (en % de matière sèche)	< 1%			Un taux plus élevé mais n'excédant pas 5% de matière sèche peut être toléré si le produit est utilisé pour l'amendement des sols	
Corps étrangers tranchants	0%				
Métaux lourds (en % de matière sèche)	Normes canadiennes (Blanchette & Côté, 1998)			Normes américaines pour les biosolides (compost issu de boues de stations d'épuration ou de boues co-compostées avec les déchets ménagers (US-EPA, 1995))	
	Catégories de compost				
Métal	AA ou A *		B *	Métal	Valeur (mg/kg de matière sèche)
As	13		75	As	75
Cd	3		20	Cd	85
Cr	210		1060	Cr	3000
Pb	150		150	Pb	840
Cu	100		757	Cu	4300
Hg	0,8		5	Hg	57
Mo	5		20	Mo	75
Ni	62		180	Ni	420
Se	2		14	Se	100
Zn	500		1850	Zn	7500

\* G : Grossières ; M : Moyennes ; F : fines ; AA ou A : 1<sup>ère</sup> qualité ; B : 2<sup>ème</sup> qualité

**Tableau 3.7. Normes de qualité du compost final destiné au marché (OMS, 1985, 1991-1993)**

Paramètres	Valeurs normales
<b>Caractéristiques générales</b>	
• Humidité (g/100g).....	30 - 50
• Matière inerte (g/100g).....	30-70
• Matière organique (g/100g).....	10-30
• pH (1:10) .....	6-9
• Taille des particules (mm).....	2-10
<b>Matières en proportions majeures (g/100g de matière sèche)</b>	
• Azote .....	0,1 - 1,8
• Phosphore (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) .....	0,1 - 1,7 (0,2 - 3,8)
• Potassium (K <sub>2</sub> O) .....	0,1 - 2,3 (0,12 - 2,76)
• Soufre .....	0,5 - 3,0
• CaO.....	1 - 20
• Sels totaux (KCl) .....	0,5 - 2,0
<b>Matières en proportions mineures (oligo-éléments et métaux lourds) en mg/kg de matière sèche</b>	
• Bore B.....	60 - 360
• Cadmium Cd.....	15 - 40
• Cuivre Cu.....	90 - 260
• Fer Fe .....	8 000 - 15 000
• Mercure Hg .....	1 - 5
• Manganèse Mn.....	300 - 1300
• Molybdène Mo .....	10
• Plomb Pb .....	200 - 400
• Zinc Zn .....	800 - 1200

Dans la plupart des pays en développement, la notion de qualité de compost de déchets ménagers ou d'autres composts issus d'autres matières premières n'est pas encore admise, faute de réglementation adéquate.

En effet, ceux-ci se contentent d'une appréciation empirique liée à la couleur et à l'aspect général du compost. Ce type d'évaluation peut permettre de juger la qualité jusqu'à un certain degré en se basant sur les paramètres suivants :

- Couleur sombre à noir témoignant d'un degré de décomposition avancée.
- Odeur : odeur de la terre sèche humectée.
- Absence de corps étrangers.
- Non-visibilité des matières premières.

- Odeur : odeur de la terre sèche humectée.
- Absence de corps étrangers.
- Non-visibilité des matières premières.

Toutefois, ces appréciations sont insuffisantes pour juger la qualité du compost et peuvent être, dans certains cas, trompeuses. Seules les analyses et les mesures au laboratoire peuvent permettre de se prononcer sur la qualité du compost. Aussi, des essais culturaux de démonstration sur des sols différents et pour des cultures différentes sont révélateurs de la valeur fertilisante du compost et des risques de phyto-toxicité.

Les métaux lourds constituent les éléments qui méritent un contrôle particulier car, à des concentrations excessives, ils peuvent limiter l'usage du compost pour des raisons de phyto-toxicité et d'impact négatif sur l'environnement.

Le problème majeur lié aux normes de métaux lourds réside dans le fait que la dynamique de ces éléments et leur niveau de toxicité dépendent d'un certain nombre de facteurs :

- Le type de sol via les paramètres suivants :
  - La Capacité d'Échange Cationique qui détermine la capacité d'adsorption des cations notamment métalliques.
  - Le pH qui détermine le degré de solubilité des métaux. À ce niveau, les sols marocains, qui sont calcaires et ayant dans la majorité des cas des pH neutres à basiques, permettent une précipitation des métaux lourds.
  - La teneur en matière organique et particulièrement en substances humiques permet de chélater ou complexer les métaux lourds.
- Le type de culture : l'intensité d'absorption des métaux lourds et le degré de phyto-toxicité varie d'une culture à l'autre.

#### **4.9.2. Degré de maturité du compost**

Le degré de maturité du compost est un paramètre particulier et d'une grande importance. Un compost est considéré mûr lorsqu'il séjourne le plus longtemps possible (1 à 4 mois) dans l'aire de maturation dans des conditions favorables.

Concernant ce phénomène, deux questions sont fréquemment posées:

- Comment peut-on juger le degré de maturité du compost ?
- Quelles sont les relations entre la maturité et la qualité du compost?

#### 4.9.2.1. Méthodes d'évaluation de la maturité du compost

On peut relever, dans la littérature, plusieurs méthodes d'évaluation de la maturité d'un compost. Ces méthodes sont de quatre types : empiriques, chimiques, physiques et biologiques. Certaines de ces méthodes ne se sont pas faciles à mettre en application et nécessitent un arsenal instrumental plus ou moins complexe. Aussi, on se propose dans le présent manuel de présenter des méthodes simples à utiliser et qui donnent des résultats satisfaisants.

##### • Méthodes empiriques

Les méthodes empiriques ou pifométriques se basent sur une évaluation visuelle et sur des impressions tactiles. Un compost mûr présente les caractéristiques suivantes :

- Les matières premières ne sont plus identifiables.
- Le compost ne dégage pas de mauvaises odeurs d'ammoniac et dégage plutôt une odeur de terre humidifiée.
- Le compost est doux au toucher.

##### • Méthodes physiques

###### \* Test de ré-humidification

On humecte un échantillon de compost à 50% et l'on suit la température. Si celle-ci ne remonte pas, on peut conclure que le compost est stabilisé et donc mûr. En principe la température doit être maintenue entre 20 et 30 °C.

###### \* Test de tamisage

On fait passer environ 5 kg de compost à travers un tamis de maille 25 mm et l'on évalue par pesée la quantité tamisée. Si cette quantité varie entre 4 et 5 kg, on peut conclure que le compost est mûr. Ceci suppose que le test est effectué avant toute opération de broyage.

##### • Méthodes chimiques

###### \* Test de pH

Théoriquement, un compost ayant subi un processus optimal de fermentation a un pH neutre à légèrement basique.

#### \* Rapport ammonium/nitrate

Un compost mûr doit contenir plus de nitrates que d'ammonium. En général, on admet un rapport nitrate/ammonium de 2/1 ou plus. Ce test n'est pas valable si le compost est enrichi avec un engrais minéral azoté à base d'ammonium et/ou de nitrate.

#### \* Test du chrome

Cole (1992) a mis en évidence un test chimique basé sur le niveau d'oxydation de l'ion chrome. Ce test a été essayé et adapté au laboratoire de Biochimie du sol à l'IAV Hassan II de Rabat (Soudi, 1999, résultats non publiés). Le test consiste à mélanger un échantillon de compost séché et broyé à 0,1 mm avec 10 ml de bichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ , 1N) et 20 ml d'acide sulfurique. L'apparition d'une couleur franchement verdâtre attribuée à la présence de l'ion chrome  $Cr^{3+}$  témoigne de la non-maturité du compost. Par contre, une coloration plus brune que verte indique que le compost est mûr.

#### \* Rapport C/N

Le rapport C/N diminue au cours du compostage à cause de la biodégradation des matières organiques et du dégagement du gaz carbonique qui en résulte. Il est commun d'admettre, pour un compost mûr, un rapport C/N compris entre 10 et 12. Globalement, le rapport C/N d'un compost de déchets ménagers doit être inférieur à 19 (Eawag, 1970) et entre 12 et 15 de préférence. Pour le cas du compost des boues de stations d'épuration, le C/N désiré pour le compost est de 5 à 6 (Hirai, 1983). Le carbone et l'azote sont dosés par les méthodes usuelles au laboratoire.

#### \* Test de chromatographie simple (Eawag, 1974)

Il s'agit d'une méthode basée sur la migration sélective des composés organiques selon leur poids moléculaire, la taille et les charges négatives. Le principe de ce test consiste à faire une extraction alcaline du compost en agitant pendant au moins 3 heures un échantillon d'environ 1 g dans 100 ml d'une solution de NaOH 0,5 N. Après centrifugation ou filtration de la suspension, on place ensuite 1 à 2 ml du jus d'extraction au centre d'un papier-filtre imbibé au nitrate d'argent ( $AgNO_3$ ) et mis dans une boîte de Pétri.

Après quelques heures, on procède à l'interprétation des résultats. Celle-ci est basée sur le fait qu'un compost mûr et de bonne qualité est riche en substances humiques (acides fulviques et acides humiques) avec une proportion importante d'acides humiques de poids moléculaire élevé. Ainsi, le test chromatographique sur papier montre pour le cas du compost mûr un noyau central brun à pâle avec une mince couche extérieure. Un compost non mûr présenterait plutôt un noyau central de couleur foncée avec des migrations de substances vers la couche extérieure. Cette migration concerne les substances intermédiaires précurseurs de l'humification et de poids moléculaire relativement faible.

### • Méthodes biologiques

Les tests les plus révélateurs de la phyto-toxicité sont basés sur l'effet du compost sur la faculté germinative des graines de quelques plantes tests (cresson, orge, laitue,...). Ces tests consistent à semer un même nombre de graines dans trois pots contenant le sol ou un mélange de sol et de sable sans compost et trois autres pots contenant le même substrat et amendés par le compost à une dose de 1% soit environ l'équivalent de 30 tonnes/ha. Après germination et levée, on dénombre le nombre de plantules dans les deux catégories de pots. On considère égale à 100% la moyenne des résultats des taux de germination dans le substrat sans compost. Ce type de test peut être complété en prolongeant le cycle de la culture et en essayant différentes doses de compost.

#### 4.9.2.2. Relation entre le degré de maturité et la qualité du compost

Pour répondre à cette question, il convient de préciser le type d'usage. En effet, un compost mûr présente moins de phyto-toxicité et, de ce fait, il est fortement recommandé pour les jeunes plantules, les semences en germination en champ ou dans les pépinières et pour les substrats horticoles ou de plantes ornementales. En effet, la faculté germinative et la croissance des jeunes plantes peuvent être inhibées par des substances intermédiaires comme les acides organiques par exemple.

Pour d'autres usages, un degré élevé de maturité n'est pas obligatoire à condition que le compost ait subi un assainissement thermique durant la phase active de fermentation. En effet, pour des vergers d'arbres fruitiers, pour des arbres forestiers et pour la réhabilitation des sols dégradés, un compost semi-mûr peut être utilisé sans danger. Le processus d'humification continuerait après incorporation au sol.



## **APPROCHE TECHNIQUE POUR LA MISE EN PLACE D'UNE UTC**

### **1. INTRODUCTION**

Ce chapitre est consacré à l'exposé d'un certain nombre d'éléments clés concernant la mise en place d'une unité de tri-compostage. Le lecteur y trouvera aussi des renseignements relatifs aux fonctions des différentes unités de l'UTC ainsi que quelques ordres de grandeur de leurs dimensions.

L'ensemble de ces éléments constitue les ingrédients nécessaires pour la planification d'un projet d'installation d'une UTC et montre au technicien l'importance des composantes d'une UTC pour la réussite du processus du compostage et pour une meilleure utilisation de l'espace. D'autres considérations techniques permettant de minimiser l'impact sur l'environnement sont également précisées.

### **2. DIMENSIONNEMENT ET FONCTIONNALITÉ D'UNE UTC**

#### **2.1. Aire de tri**

Le tri est effectué manuellement sur une aire couverte pour la protection des ouvriers par rapport au soleil et à la pluie et imperméabilisée pour éviter l'infiltration des lixiviats. La superficie requise est d'environ 50 m<sup>2</sup> par tonne de déchets bruts. La hauteur du toit de couverture doit être d'environ 6 m pour permettre le passage de véhicules qui livrent les déchets. La fraction non organique des déchets est acheminée vers une décharge contrôlée. La partie organique fermentescible est acheminée vers l'aire de fermentation. Lorsqu'on prévoit des possibilités de recyclage, la fraction non organique peut être triée en une ou plusieurs catégories (plastiques, verres, cartons, etc.) qui sont placées dans des compartiments ou casiers différents. Le système de tri et d'acheminement des différentes catégories de déchets triés peut être mécanisé en utilisant des transporteurs à palettes et des tapis roulants.

## 2.2. Andains et aire de fermentation

Pour les unités de compostage à petite ou moyenne échelle, le compostage en tas semble être le plus approprié. La dimension du tas est importante : pas trop haut pour éviter l'auto-tassement, pas trop large pour faciliter le retournement. La dimension optimale à préconiser est : 1,5 m de haut et 2 mètres de large. La longueur minimale doit être de 3 mètres et le maximum dépendra des volumes des tas individuels et de l'aire de fermentation. Une longueur de 8 mètres correspondant à 12 m<sup>3</sup> est recommandée pour les petites unités. Lorsqu'on dispose d'une andaineuse-retourneuse, la largeur du tas doit être adaptée à la largeur de la machine et peut être de 4 m. La longueur peut être augmentée à 15 m ou plus. La figure 4.1 illustre la forme géométrique et les dimensions d'un andain.

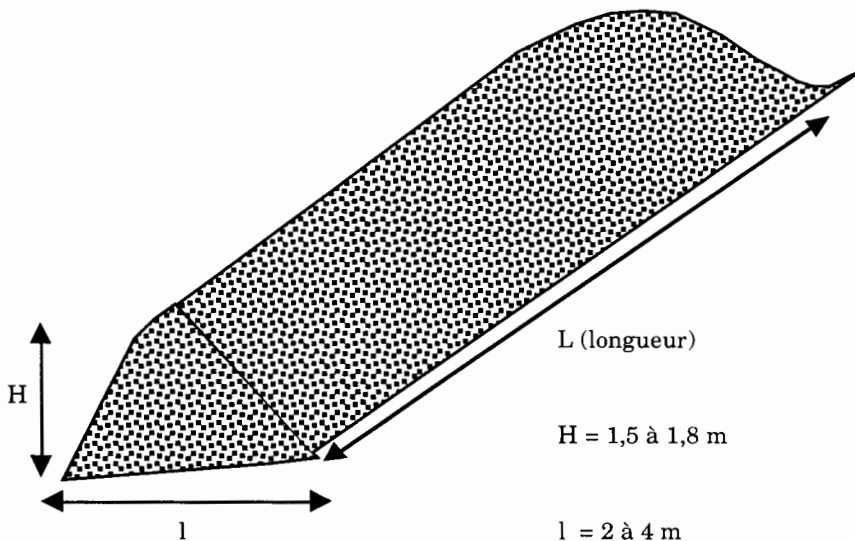


Figure 4.1. Forme géométrique et dimensions d'un andain

## 2.3. Aire de fermentation

La fermentation correspond au compostage proprement dit. L'aire de fermentation est dimensionnée sur la base de données suivantes :

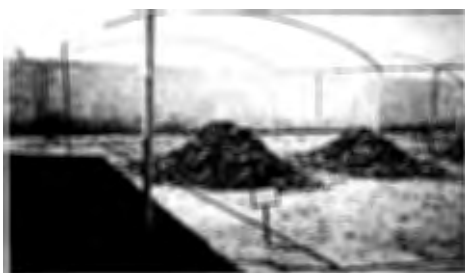
- La densité varie de 250 kg/m<sup>3</sup> (mesurée pour les déchets de Rabat-Salé (Maroc)) à environ 300 kg/m<sup>3</sup>.
- La surface occupée par un andain de dimension minimale et son volume. On peut jouer sur la longueur des andains de telle manière qu'ils correspondent au volume de déchets collectés par jour ou en

deux jours. Ceci facilitera la gestion du calendrier d'interventions (retournements, arrosage, etc.).

- Le temps de séjour des déchets sur l'aire de fermentation : 30 à 50 jours.
- Le tonnage journalier de déchets livré à l'unité de tri-compostage.
- L'espacement entre les rangées d'andains doit être équivalent à au moins la largeur des andains pour permettre le retournement et/ou le passage du tracteur dans le cas d'un retournement mécanisé.
- L'espacement entre les andains doit être égal à au moins 1,25 m.

Il est important de prévoir toujours une aire d'extension. Si on se heurte à des restrictions majeures de terrain, on pourra augmenter de 0,5 m la hauteur des andains.

La précaution environnementale à considérer réside dans l'imperméabilisation de la plate-forme de compostage pour éviter les infiltrations des lixiviats dans le sol et dans les eaux souterraines. Cet aménagement est associé à l'installation d'un système de drainage et de stockage des lixiviats (voir Figure 4.3). Une vue de l'aire de fermentation de l'UTC de Bab Lamrissa à Salé illustrée par la photo 4.1.



**Photo 4.1.** Aire de fermentation et andains dans l'UTC de Bab Lamrissa à Salé

## **2.4. Aire de maturation**

La forme géométrique du tas en maturation n'a aucune importance. Comme il a été souligné auparavant, la durée de maturation s'étale sur une période allant de quelques semaines à 6 mois selon les conditions abiotiques externes et selon les spécifications du produit à commercialiser.

La superficie de l'aire de maturation est modulable en fonction de la demande et de l'écoulement du produit. D'après les expériences acquises à travers les projets-pilotes de ENDA Maghreb, on peut retenir, à titre indicatif, une superficie de  $30 \text{ m}^2$  et un volume de  $60 \text{ m}^3$  / tonne de déchets bruts livrés à l'unité. L'aire de maturation doit être couverte.

## 2.5. Atelier de criblage

Le criblage constitue une étape essentielle pour la préparation du compost. Il consiste en l'élimination des fractions grossières. Le compost est déposé sur une grille dotée de mailles rondes de 30 mm de diamètre. On peut utiliser une grille en acier, de forme carrée et de superficie d'environ  $6$  à  $9 \text{ m}^2$ , déposée sur des pieds hauts de 1 m. La figure 4.2 montre un schéma de cribleur facile à confectionner localement.

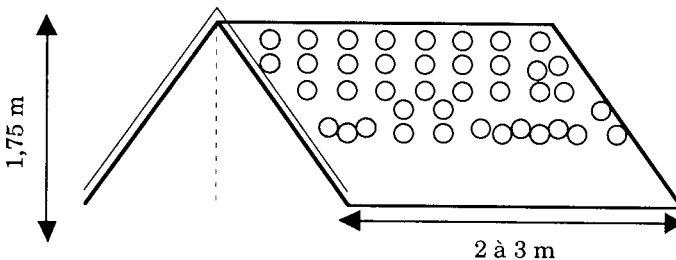


Figure 4.2. Schéma et dimensions d'un cribleur

La forme et les dimensions du cribleur peuvent varier en fonction de la capacité et du degré de criblage.

Pour l'obtention d'un compost fin, maniable et à grande surface spécifique lui offrant une grande facilité de biodégradation, on peut procéder au broyage. La photo 4.2 illustre les opérations de broyage et criblage après la maturation du compost.

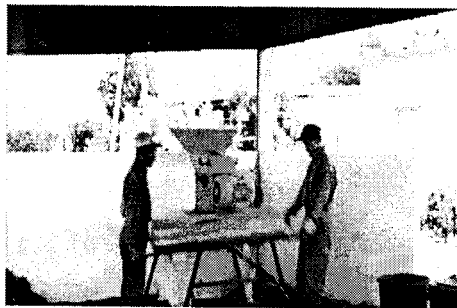


Photo 4.2. Broyage et criblage du compost après maturation

## **2.6. Aire de stockage**

Après criblage et broyage du compost, ce dernier est mis dans un espace de stockage muni ou pas d'un équipement pour l'emballage. Le sol de l'aire de stockage doit être nivelé et compacté en gardant une légère pente en direction du caniveau. L'aire de stockage doit être aménagée de telle manière à ce qu'elle permette l'accès et le passage de véhicules.

## **2.7. Aménagements pour la récupération et le traitement des lixiviats**

Un fossé imperméabilisé de 0,5 m de largeur et de 0,5 m de profondeur est creusé en contrebas des différentes aires pour la collecte des eaux pluviales, des eaux de lavage de l'aire de tri et les lixiviats provenant des tas en compostage. Ces eaux sont ensuite déversées dans un bassin de décantation pour se décharger au cours de leur passage des matières en suspension. Celles-ci se déposent au fond de la lagune. Le bassin de décantation est doté d'une buse d'évacuation située au niveau haut du coin diamétralement opposé au fossé dans lequel se déversent les eaux. L'eau assainie peut être ensuite répartie en minces lames sur une sorte d'escaliers bétonnés pour faciliter leur évaporation. On peut également prévoir une roselière à l'aval des effluents d'eaux décantées pour pomper les éléments minéraux solubles ou l'utilisation de plantes aquatiques de type heliophytes (macrophytes) qui sont dotées d'un grand pouvoir épuratoire.

## **2.8. Autres équipements**

Pour faciliter la gestion de l'unité, il convient de prévoir également les aménagements suivants :

- Un bureau.
- Un local de rangement de petit matériel et de sondes de mesures.
- Des toilettes et une douche.
- Un vestiaire.

La superficie totale de ces locaux peut être d'environ 24 m<sup>2</sup>. Il est important de souligner que la grandeur de ces équipements est modulable en fonction de la capacité de l'unité. On peut doter l'unité d'un équipement mécanisé composé d'une andaineuse-retourneuse, d'un broyeur et d'un tracto-pelle.

## 2.9. Schéma récapitulatif

Un exemple des principales composantes de l'unité de compostage est illustré par la figure 4.3. D'autres aménagements spécifiques peuvent être conçus et réalisés en fonction du contexte de milieu et des moyens.

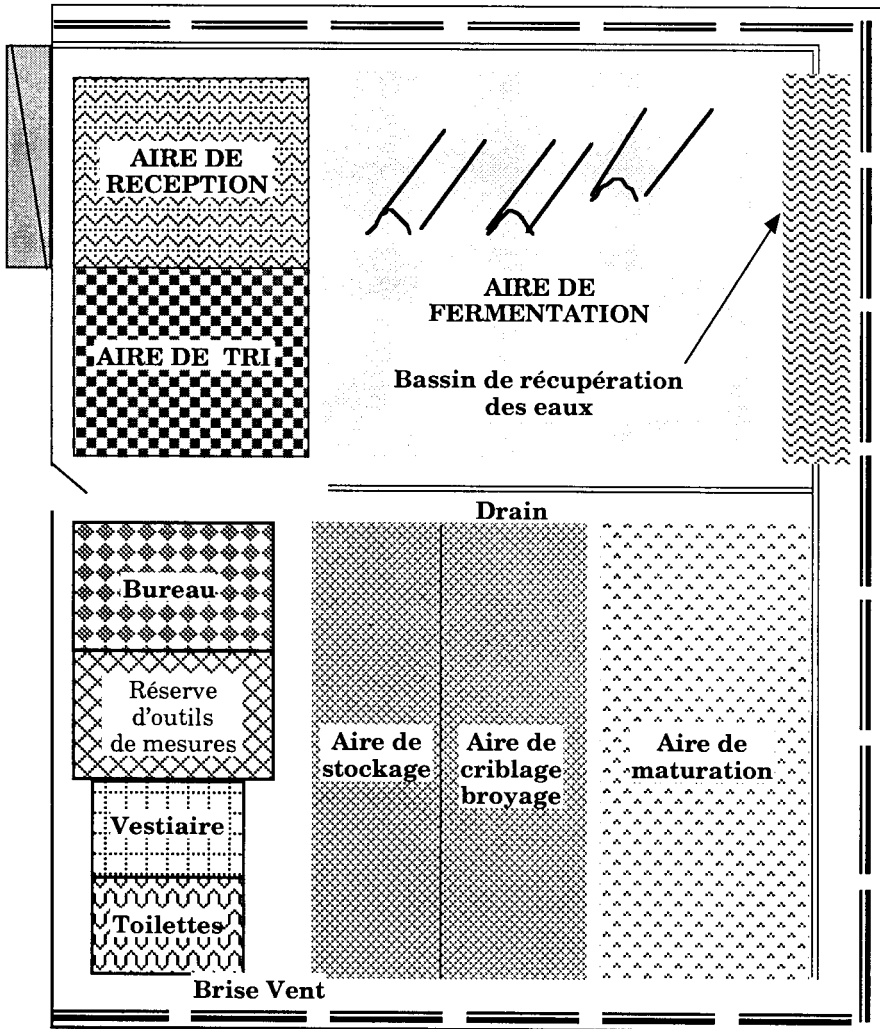


Figure 4.3. Schéma montrant les principales composantes d'une unité de tri-compostage (les superficies des différentes composantes sont modulables)

## 2.10. Petit matériel

Le nécessaire de base se limite à des :

- Fourches à 4 et à 9 dents.
- Pelles.
- Balais.
- Tinettes.
- Gants.
- Combinaisons de travail.
- Bottes.
- Motopompes ou citernes pour l'adduction de l'eau.
- Tuyaux pour arrosage.

## 3. SUPERFICIE POUR UNE UNITÉ DE COMPOSTAGE

L'encadré 4.1 fournit quelques ordres de grandeur des superficies minimales requises (SMR) pour une unité de tri-compostage à petite échelle (3 tonnes/jour).

### Encadré 4.1. Superficies minimales requises (SMR) pour le compostage

#### SMR pour le compostage artisanal de 3 tonnes de déchets/jour

Dimensions des tas : Longueur de 3 m ; largeur de 2 m et hauteur de 1,5 m  
soit une superficie individuelle par tas de 6 m<sup>2</sup> et un volume de 4,5 m<sup>3</sup>

20 emplacements de tas (3 m x 2 m + 1,5 m de distance entre les tas)	150 m <sup>2</sup>
Voie de livraison de déchets (25 m x 4 m).....	100 m <sup>2</sup>
Aire de réception (15 m x 4 m).....	60 m <sup>2</sup>
Aire de stockage et de maturation (25 m x 2 m).....	50 m <sup>2</sup>
Total .....	360 m <sup>2</sup>
Aire d'extension.....	180 m <sup>2</sup>

Une possibilité d'extension en cas de manque de terrain réside dans l'augmentation de la hauteur des andains mais pas plus de 2 m pour éviter le tassement et faciliter le retournement manuel à la fourche.

On retient un chiffre de 120 m<sup>2</sup>/tonne de déchets.

#### SMR pour le compostage semi-mécanisé des quantités plus importantes de déchets

10 tonnes (3 500 ménages).....	1200 à 1800 m <sup>2</sup>
40 tonnes (14 000 ménages).....	0,75 à 1,0 ha
80 tonnes (28 000 ménages).....	3,0 à 4,5 ha

#### 4. TEMPS NÉCESSAIRE POUR LES OPÉRATIONS DE TRI ET DE RETOURNEMENT

Dans une unité de compostage, le tri manuel et le retournement constituent les opérations les plus consommatrices de temps. Ainsi, il a été jugé utile de relater quelques ordres de grandeur inspirés des expériences acquises dans l'UTC de Salé-Bab Lamrissa et d'autres essais à caractère expérimental conduits dans d'autres localités (Encadré 4.2).

##### **Encadré 4.2. Ordres de grandeurs du temps consommé par les opérations manuelles**

Tri manuel un homme- jour pour 1 tonne (3,6 m<sup>3</sup>)

Mise en andains .....un homme - jour pour 1 tonne (3,6 m<sup>3</sup>)

Retournement .....un homme - jour pour 5 tonnes (18 m<sup>3</sup>)

**INFORMATION.** Les machines andaineuses retourneuses qui sont actuellement sur le marché ont une capacité équivalente allant de 30 à 200 hommes-jours ou même plus. Des machines quasi-similaires peuvent être perfectionnées localement en faisant appel à la technologie locale. Ceci permettrait d'éviter le problème lié au manque de pièces de rechanges et d'entretien et d'assurer une durabilité du matériel.

##### **Retenir à titre indicatif:**

- Pour un tonnage de déchets inférieur à 4 tonnes/jour le retournement manuel est faisable dans le cas de disponibilité de main-d'œuvre.
- Pour un tonnage de déchets supérieur à 4 tonnes/jour il est recommandé de prévoir une andaineuse-retourneuse.



## COMMERCIALISATION ET VALORISATION DU COMPOST

### 1. INTRODUCTION

Il est actuellement admis qu'un compostage techniquement bien pratiqué permet de générer un produit d'amendement d'une excellente valeur. En effet, le compost présente des avantages majeurs sur les plans agronomique, économique et environnemental.

Le compost est un excellent produit d'amendement des sols : il permet d'améliorer un grand nombre de paramètres de fertilité physique et chimique des sols :

- Amélioration de la structure du sol.
- Atténuation de l'érosion par augmentation de la cohésion du sol et de sa stabilité structurale.
- Diminution de la densité apparente.
- Augmentation de la capacité de rétention de l'eau.
- Aération et circulation de l'air.
- Amélioration du drainage.
- Augmentation de la matière organique du sol.
- Suppression de germes phytopathogènes par la stimulation du développement des organismes saprophytes compétitifs, production de toxines et antibiotiques, etc.).
- Libération progressive d'éléments nutritifs majeurs (N, P et K) et donc atténuation de pertes et de pollution nitrique des eaux souterraines.
- Augmentation de la Capacité d'Échange cationique (CEC) et, par conséquent, de la rétention d'éléments nutritifs cationiques surtout dans le cas des sols de texture sableuse.

Des relations de cause à effet entre l'application du compost et certains de ces paramètres sont rapportées dans le tableau 5.1. Ces actions s'apparentent aux rôles nobles joués naturellement par la matière organique du sol.

**Tableau 5.1. Principales actions du compost sur les paramètres de la qualité des sols**

Paramètre	Action du compost	Conséquences
Stabilité structurale	Augmentation de la stabilité des agrégats en jouant le rôle de ciment et en atténuant l'action dégradante de l'eau	Amélioration de l'aération et donc de l'activité biologique et racinaire, atténuation de l'érodibilité des sols et amélioration de la circulation de l'eau.
Rétention en eau	Augmentation de la rétention de l'eau par le sol et particulièrement des sols sableux de faible capacité d'emménagement de l'eau	Réduction de la lixiviation des nitrates et autres ions dans les sols sableux et économie de l'eau dans les sols de zones arides
CEC	Augmentation de la teneur en substances humiques et donc des charges négatives qui contribueront à l'augmentation de la CEC du complexe argilo-humique	Rétention des cations (éléments nutritifs) et particulièrement dans les sols sableux de faibles teneurs en colloïdes argileux et humiques et augmentation de la capacité d'adsorption des pesticides et de complexation de métaux lourds rendant ceux-ci moins biodisponibles et donc moins phyto-toxiques
Fertilité chimique	Fourniture d'éléments nutritifs par minéralisation progressive	Alimentation minérale des plantes cultivées, économie des engrais chimiques commerciaux et réduction de la pollution
Fertilité biologique	Amélioration de l'activité biologique et développement des saprophytes concurrençant les agents phytopathogènes	Augmentation de la résistance des plantes à certaines maladies

\* CEC : Capacité d'Échange Cationique

Les résultats obtenus à travers les essais agronomiques effectués au Maroc et dans d'autres pays ont montré que le compost d'ordures ménagères peut être considéré comme un excellent produit d'amendement organique qui permet d'améliorer les propriétés physiques et chimiques des sols et, par conséquent, les rendements des cultures.

En plus de ces impacts positifs sur les propriétés physico-chimiques et biologiques des sols, le compost présente d'autres avantages :

- Redressement de la teneur en matière organique des sols ayant été soumis à une mise en valeur intensive et à une mauvaise gestion des résidus de cultures. En effet, les pertes décennales en matière organique enregistrées dans quelques périmètres irrigués au Maroc varient de 20 à 30% (Soudi & Nâaman, 1999). Aussi, le compost

peut significativement contribuer à la réhabilitation des terrains de parcours mis en culture dans le Moyen Atlas (Maroc) qui ont subi des pertes en matières organiques dépassant les 40% sur une période de 50 ans.

- Il peut être utilisé pour la confection des pots de cultures en pépinières et dans les substrats horticoles.

## **2. VALEUR AGRONOMIQUE DU COMPOST**

La valeur du compost (VC) peut être dissociée en deux composantes: valeur organique (VO) et valeur minérale (VM), soit :

$$VC = VM + VO$$

La valeur minérale correspond à la quantité d'éléments nutritifs majeurs et d'oligo-éléments disponibles dans le compost sous formes directement assimilables ou fournies par voie de minéralisation. En effet, le compost fournit les éléments nutritifs de manière progressive au cours du cycle cultural. Ceci atténue les pertes d'azote par lixiviation.

La valeur organique correspond aux effets bénéfiques de la matière organique, en général, et des substances humiques, en particulier, sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols comme il a été mentionné plus haut. La valeur organique du compost est plus importante du point de vue impact sur la qualité du sol que sa valeur minérale. De ce fait, on considère, en général, que la valeur organique est au moins égale à deux fois la valeur minérale ( $VO = 2 VM$ ).

L'encadré 5.1 donne des ordres de grandeurs des quantités d'éléments majeurs (N, P, K) susceptibles d'être fournis par le compost ainsi qu'une estimation de la valeur agronomique du compost.

## **3. PRATIQUES D'UTILISATION DU COMPOST**

En premier abord, l'utilisation rationnelle et adéquate du compost doit tenir compte des éléments suivants :

- La nature du sol.
- Le climat.
- La plante cultivée, son stade de développement et ses besoins en éléments nutritifs.
- La qualité du compost : degré de maturité, composition en éléments nutritifs, en métaux lourds et en sels.

**Encadré 5.1. Valeur agronomique du compost de déchets ménagers****• Fourniture d'éléments nutritifs**

Les quantités d'éléments nutritifs majeurs susceptibles d'être fournies par le compost sont variables et dépendent de la composition du compost utilisé et des conditions hydriques, thermiques et d'aération au niveau du sol. On rapporte ci-après des fourchettes indicatives. Une tonne de compost de déchets ménagers fournirait :

- 4 à 10 kg de N/ha
- 3 à 9 kg de  $P_2O_5$ /ha
- 3 à 6 kg de  $K_2O$ /ha

**• Gain économique en fertilisants**

Une dose de 10 tonnes apporterait au minimum 40 kg de N/ha, 30 kg de  $P_2O_5$ /ha et 30 kg de  $K_2O$ /ha, soit un gain économique minimal basé sur les prix des engrais au Maroc de : 55 \$ US/ha pour une dose de 10 tonnes de compost.

**• Valeur agronomique globale du compost**

$VC = VM + VO$  et  $VO = 2 VM$ .

Le gain total annuel varierait entre 165 à 495 \$ US/ha.

Ce gain sera majoré si on considère les éléments secondaires (Ca, Mg, etc.) et les oligo-éléments.

Quelques conseils pratiques (encadré 5.2) peuvent guider l'usage du compost des déchets ménagers comme produit d'amendement du sol ou comme composante de substrats pour cultures en pots et pour pépinières de plantes ornementales ou forestières.

Ces conseils sont le fruit des essais agronomiques réalisés au Maroc (Oukhouya, 1999 ; Nabich, 1999) ou dans d'autres contextes similaires (Bahler, 1979 ; Anid, 1981). Le lecteur pourra consulter la fourchette de doses proposée par l'OMS (1985) (encadré 5.3).

#### **4. AJUSTEMENT DES DOSES EN FONCTION DE LA TENEUR EN MÉTAUX LOURDS**

Dans la pratique d'utilisation du compost de déchets ménagers et dans le cas où ces déchets contiendraient des métaux lourds même à des concentrations inférieures aux valeurs seuils, les doses à apporter doivent être calculées de telle manière à ne pas atteindre dans le sol les valeurs limites cumulatives (Tableau 5.2).

Il s'agit ici des principaux métaux lourds rencontrés généralement dans les boues résiduaires et dans les composts urbains.

**Encadré 5.2. Conseils pratiques d'utilisation du compost**

• **Mode d'application** Le compost doit être enfoui à 10 ou 15 cm de profondeur pour éviter son dessèchement en conditions chaudes et garantir une minéralisation optimale et une libération d'éléments nutritifs. Il est recommandé de bien mélanger le compost au sol et d'éviter d'avoir une couche de compost isolée qui risque de déclencher une production de gaz nocifs en conditions anaérobiques.

*Pour le cas spécial des cultures en billons sous serre (tomate, melon, poivron, etc.), on peut appliquer le compost de manière localisée en ligne ou en bandes.*

• **Doses d'application**

30 tonnes/ha en sols sableux pour les grandes cultures (céréales, betterave sucrière, etc.) et 40 tonnes/ha pour les cultures maraîchères, une fois tous les deux ans.

10 tonnes/ha en sols plus argileux pour les grandes cultures (céréales, betterave sucrière, etc.) et 30 tonnes/ha pour les cultures maraîchères, une fois tous les deux ans.

50 à 80 tonnes/ha, tous les 2 à 3 ans, pour les plantations fruitières.

Ces doses permettent d'accroître les rendements de 30 à 150% avec amélioration de la qualité des produits (exemple : augmentation de la teneur en protéines des céréales).

Des doses intermédiaires sont recommandées pour des sols à texture équilibrée. 10 - 60 tonnes/ha pour les cultures florales.

100-200 tonnes/ha à la plantation et 20 - 40 tonnes/ha (apports fractionnés) pour les gazons.

• **Doses en pépinières de cultures** Adopter la proportion de 20% en volume dans les substrats de plantation ou 40 à 60 tonnes/ha.

• **Doses pour plantes ornementales et espaces verts (fleurs coupées, gazon, etc.).** 100 tonnes/ha à la plantation et 20 tonnes/ha, tous les deux ans

• **Doses pour pépinières forestières** Taux de compost dans le substrat : 25 à 35% en volume.

*Attention ! Ces doses dépendront d'autres facteurs : histoire culturale, type de sol, système de culture, teneurs en métaux lourds, etc.*

**Encadré 5.3. Fourchette de doses d'application du compost pour différents types d'usage (OMS, 1985)**

Type d'application	Dose (kg/m <sup>2</sup> )
Céréales .....	2 - 10
Plantes racines consommables.....	5 - 25
Cultures florales.....	5 - 20
Terrains de pâturage.....	2 - 5
Vigne .....	5 - 30
Arboriculture fruitière .....	10 - 50
Cultures maraîchères (plein champ).....	10 - 50
Plantes ornementales.....	20 - 50
Pépinières .....	10 - 30
Jardins et espaces verts.....	30 - 60
Terrains de sport .....	5 - 40

On peut déduire de ces normes que dans les sols de texture sableuse, ayant généralement une CEC faible, on tolère des valeurs cumulatives plus faibles que dans les sols plus argileux de CEC plus élevée et donc de capacité d'adsorption plus importante. Comme il est indiqué dans le titre du tableau 5.2, ces normes ne sont valables que dans les sols ayant un pH supérieur à 6.5. En effet, la plupart des métaux lourds sont solubles et donc toxiques à pH acide. Lorsque le pH est basique, la plupart de ces métaux précipitent et deviennent faiblement réactionnels.

**Tableau 5.2. Valeurs cumulatives limites pour les principaux métaux lourds applicables aux sols cultivés en fonction de la CEC (Capacité d'Échange Cationique exprimée en méq/100 g de sol) et pour des valeurs de pH du sol maintenues supérieures à 6,5 (d'après US-EPA, 1977)**

Métal	.....Teneur maximale dans le sol (en kg/ha).....		
	CEC < 5	5 < CEC < 15	CEC > 15
Pb	560	1120	2240
Zn	280	560	1120
Cu	140	280	560
Ni	140	280	560
Cd	5	10	20

Sur la base de ces directives, et considérant les teneurs en métaux lourds du compost utilisé, on peut facilement calculer la dose annuelle qu'on peut appliquer sur une durée de n années (encadré 5.4). Dans ce calcul, il est recommandé de tenir compte en priorité du métal lourd le plus concentré.

**Encadré 5.4. Exemple de calcul du nombre d'années d'application du compost en fonction de sa teneur en métaux lourds**

À titre d'exemple, si on considère les concentrations moyennes en Pb et en Zn évaluées respectivement à 250 et 940 mg/kg dans quelques composts de déchets ménagers au Maroc (Soudi, résultats non publiés), on peut faire les calculs suivants :

Pour un sol sableux, on peut appliquer une dose de 20 t/ha pendant 12 ans et une dose de 40 tonnes/ha pendant 56 ans. Le même calcul, effectué pour le cas de Zn, montre qu'on ne peut appliquer la dose de 20 tonnes/ha que pendant une durée de 15 années. Il s'agit là d'un facteur limitant. On peut donc en déduire que le calcul doit se faire sur la base du métal lourd le plus concentré dans le compost.

Toutefois, il conviendrait d'indiquer à ce niveau quelques facteurs d'atténuation :

- Les normes indiquées ont été adaptées essentiellement pour des sols à pH légèrement acides à neutres. Or la plupart des sols au Maroc, par exemple, ont un pH légèrement alcalin à franchement alcalin.
- Les calculs sont relativement sévères puisqu'ils sont effectués sur la base des teneurs en métaux lourds exprimées par rapport au poids sec. Or le compost a toujours une teneur en eau minimale de 25%.
- Les calculs ne concernent que la couche superficielle du sol. Si on considère un brassage de la couche du sol par un travail du sol profond, on ramènera la concentration en métal dans le sol à des valeurs plus faibles. Toutefois, il y a lieu d'éviter l'accumulation dans le profil des sols pour minimiser le risque de pollution des eaux souterraines dans le cas d'un faible niveau piézométrique.
- Une autre pratique d'atténuation de ce problème consiste à co-composter les déchets ménagers avec des déchets verts agricoles, des bois de taille ou d'autres sous-produits agro-industriels (écumes de sucrerie, marc de raisin, grignon d'olives, etc.).

Dans le cas des déchets générés par les petites et moyennes communes, le problème de métaux lourds ne devrait pas être de grande ampleur. Aussi, la promotion du tri à la source réduirait de manière significative cette contamination métallique.

À ce propos, il convient de rappeler l'importance de la mise en place d'une unité de récupération des matières recyclables à côté de l'UTC.

## **5. COMMERCIALISATION DU COMPOST**

L'existence d'un marché d'écoulement du compost est une condition primordiale de l'opportunité d'un projet de compostage. Au Maroc et dans les pays semi-arides à arides où les déperditions de matière organique des sols sont élevées, le recours aux composts comme produit d'amendement organique se justifie pleinement.

Deux objectifs essentiels doivent guider la commercialisation du compost :

- Vente de la totalité du volume de compost produit.
- Optimisation du revenu et minimisation du coût.

Il n'existe pas de recettes permettant de réaliser ces objectifs.

Toutefois, un certain nombre d'éléments stratégiques importants s'avèrent nécessaires à adopter. Certains d'entre eux ont été développés par US-EPA (1995) :

- \* Élargir la liste des usagers potentiels dans la zone considérée en fonction des activités socio-économiques. La liste peut être assez large contrairement à ce que l'on peut imaginer :
  - Exploitations agricoles.
  - Sylviculture.
  - Pépinières forestières et horticoles.
  - Cultures sous serre.
  - Réhabilitation des sols dégradés.
  - Espaces verts urbains ou péri-urbains.

Cette stratégie doit être complétée par les deux aspects suivants :

- Évaluer la demande totale d'un type de marché donné et confronter cette demande à la capacité de production.
  - Évaluer les fluctuations saisonnières de la demande au sein d'une année pour planifier les possibilités de stockage à l'unité ou chez les gros acheteurs ou revendeurs.
- \* Garantir une qualité adéquate en fonction des usages escomptés et en fonction du climat, du sol et des facteurs socio-économiques. Deux exemples peuvent démontrer l'importance de cet aspect de qualité :
    - Exemple 1. Échec d'écoulement de compost grossier dans la région de Rabat-Salé d'une ancienne unité de traitement des ordures ménagères à cause de la présence de fractions indésirables : verre et plastiques.
    - Exemple 2. Inhibitions de croissance et de développement de plants de pépinières à cause de la non-maturité du compost. En effet, un compost non mûr contient des substances intermédiaires (acides organiques et composés phénoliques précurseurs de l'humification) qui sont toxiques pour la germination et pour la croissance des jeunes plantules. Ainsi, si la maturité du compost n'est pas obligatoire pour l'arboriculture, elle le sera pour d'autres usages comme dans le cas des pépinières ou des cultures sensibles.
  - \* Confectionner un dépliant reprenant toutes les informations techniques du compost plus un rappel des avantages de ce produit. Ce dépliant peut également contenir une évaluation des gains



générés par l'usage du compost (amélioration des propriétés des sols, économie des engrais minéraux, préservation de l'environnement).

- \* Garantir une stabilité de la composition et de la qualité du compost. S'assurer particulièrement de la teneur en métaux lourds pour qu'elle ne dépasse pas le seuil maximum (cf. Directives de qualité du compost).
- \* Prévoir une notice sur la composition du compost, les usages potentiels, le mode d'emploi, les doses pour différents usages, les conditions de stockage et les précautions à prendre. Cette notice doit accompagner le compost emballé dans des sacs. Aussi, l'étude de commercialisation du compost doit être réalisée avant, durant et après la réalisation de l'UTC.
- \* Préparer une fiche technique comprenant les directives de monitoring du compostage. Elle doit être élaborée en termes simples et distribuée aux agents de commune ou de gestionnaires des UTC après une session de formation.
- \* Promouvoir la recherche appliquée dans le domaine de valorisation du compost. En effet, cela permettrait de produire des instructions techniques et des directives spécifiques au contexte agro-pédo-climatique de la zone considérée.

## 6. PRIX DU COMPOST

Le prix de compost fait partie intégrante de la commercialisation. Les études de faisabilité conduites au Maroc ont montré que le compost, perfectionné dans les petites et moyennes communes à proximité des zones agricoles et des pépinières, peut être vendu à un prix allant de 70 Dirhams/tonne (7 \$ US) à 140 Dirhams/tonne (14 \$ US).

Des prix plus élevés peuvent être justifiés lorsque des essais de démonstration prouvent une haute valeur agronomique du compost avec un risque nul d'impacts négatifs sur l'environnement et sur la qualité hygiénique du produit.

Le prix peut être modeste au départ et augmenté en fonction de la demande. Mais, un prix optimal permettant au moins de couvrir le coût de production est important à fixer. Les prix trop bas par rapport

aux autres produits organiques commercialisés rend le compost moins attractif (psychologiquement) vis-à-vis des utilisateurs.

D'autres éléments stratégiques peuvent être adoptés :

- Offrir au moins deux types de produits (fin, grossier, compost mûr, compost semi-mûr,...) à des prix variables et répondant aux besoins spécifiques des différents usages.
- En fonction de la quantité commandée par un seul acheteur, offrir des rabais optionnels pouvant être fixés en fonction du volume commandé.
- Une autre stratégie consiste à mettre en place des contrats avec les gros acheteurs. Ces contrats doivent stipuler les spécifications de qualité, le prix, les usages, le mode de livraison et la procédure de paiement.

Bien sûr, le prix du compost, comme tout autre produit, dépendra en grande partie de la loi de l'offre et de la demande.

Du point de vue environnemental, lorsqu'on considère que le compostage est une mesure de mitigation d'impacts négatifs des déchets ménagers sur le milieu récepteur et que les autres filières d'élimination sont généralement coûteuses ou non justifiées, on peut dire que le prix du compost doit être au moins égal aux frais occasionnés par sa production.

## **7. CONDITIONNEMENT DU COMPOST**

Le mode de conditionnement du compost est également lié à l'aspect commercialisation.

Le compost peut être vendu en vrac ou emballé dans des sacs de différents volumes. L'emballage améliore la présentation du produit, mais exige un investissement supplémentaire. L'emballage en sacs de 80 litres peut être très adapté pour les pépinières et pour les plantes ornementales, mais exige un compost mûr et de bonne qualité.

## **8. ESSAIS AGRONOMIQUES**

Les essais agronomiques ont pour objectifs l'évaluation de :

- La valeur fertilisante du compost.
- L'impact sur les propriétés physico-chimiques des sols.
- La mobilisation des métaux lourds et la qualité alimentaire des produits.

Ces essais peuvent être menés sous serre, en pépinières et en plein champ. Des essais, appelés de démonstration, sont conduits chez un réseau d'agriculteurs de niveaux de performance contrastés. Ce type d'essais constitue un élément important dans la stratégie de commercialisation du compost. En effet, comme on dit assez souvent: « l'agriculteur ne croit qu'à ce qu'il voit ».

Les traitements, qui peuvent être adoptés dans les essais d'utilisation du compost, sont rapportés dans l'encadré 5.5.

**Encadré 5.5. Traitements adoptés dans les essais agronomiques d'évaluation de la valeur du compost et de ses impacts**

- Traitement 1. Aucun apport
- Traitement 2. Apport des doses d'engrais minéraux recommandées pour la culture retenue pour les essais.
- Traitement 3. Doses croissantes de compost complémentées avec des engrais minéraux sur la base de la valeur minérale du compost. Les doses de compost peuvent être à titre indicatif comme suit : 5 t/ha ; 10 t/ha, 20 t/ha, 30 t/ha, 40 t/ha. Ces doses peuvent varier selon le type de sol et de la culture.

Pour chaque traitement, un certain nombre d'analyses et de mesures sont effectuées avant le démarrage des essais, au cours du cycle de la culture et à la récolte.

Ces analyses et mesures concerneront :

- La caractérisation physico-chimique des sols à l'état initial et à la récolte.
- La caractérisation physico-chimique du compost utilisé.
- La caractérisation des eaux d'irrigation.
- Les paramètres de croissance et de développement de la culture expérimentée.
- Le rendement de la culture.
- La mobilisation des éléments nutritifs par la culture.
- La mobilisation des métaux lourds par les différentes parties de la plante.
- Les teneurs en métaux lourds dans le sol amendés.

D'autres essais peuvent être conduits dans des pots de pépinières pour le choix de proportions optimales entre une fraction minérale (pouzzolanes, perlite, etc.) et la fraction organique représentée par le compost.

Il conviendrait, dans certains essais, d'implanter des lysimètres pour examiner la percolation des nitrates au-delà de la zone racinaire. Ce type d'essais est très recommandé lorsque le sol est de texture sableuse et le niveau piézométrique de la nappe est faible.

Les dispositifs expérimentaux peuvent être de deux types :

- **Dispositifs scientifiques** de type complètement aléatoire (randomisation totale) avec trois répétitions : ces dispositifs permettent un dépouillement statistique des données et une comparaison des résultats des différents traitements. Ces essais peuvent être conduits sous serre, en pots de végétation et en plein champ).
- **Dispositifs simples chez des agriculteurs-pilotes** : une parcelle divisée en trois ou quatre sous-parcelles sur lesquelles on applique les traitements qu'on désire tester. Ces essais-pilotes permettent aussi de valider les résultats issus des essais scientifiquement élaborés et de les pondérer en fonction du type de sols et de types de cultures.

Les traitements qui peuvent être adoptés dans ce type d'essais sont rapportés dans l'encadré 5.6. Ces essais sont actuellement en cours de réalisation à l'IAV Hassan II.

**Encadré 5.6. Exemple de traitements qu'on peut adopter dans des essais de démonstration chez les agriculteurs**

- T1 : 0 tonne de compost/ha
- T2 : 20 tonnes de compost/ha
- T3 : 0 tonne de compost/ha + fertilisation minérale recommandée sur la base du besoin de la plante, du rendement de la culture et d'analyses du sol
- T4 : 20 tonnes/ha + un complément d'engrais minéraux équivalent par exemple à la moitié des unités fertilisantes appliquées dans le cas du traitement T3.

D'autres doses peuvent être testés selon la même procédure en fonction du type de sols et de la culture pratiquée.

Ce type d'essais doit représenter les différentes situations culturales et les types de sols de la région considérée.

## **MODALITÉS ET PROCÉDURES DE MISE EN PLACE D'UN PROJET DE COMPOSTAGE**

### **1. INTRODUCTION**

La réussite de mise en place d'une unité de compostage exige un certain nombre de mesures préalables qui seront exposés dans ce chapitre :

- La démarche à adopter pour l'élaboration des projets de gestion des déchets ménagers incluant la technique de compostage. Pour cela, on se propose de s'inspirer de la démarche adoptée par l'ONG ENDA-Maghreb.
- Les éléments d'amélioration de cette démarche en adoptant la méthode de planification des projets par objectifs basée sur l'implication de toutes les parties concernées et à toutes les phases du projet.

### **2. DÉMARCHE ADOPTÉE PAR ENDA-MAGHREB POUR LA MISE EN PLACE DES UTC**

La démarche adoptée par ENDA-Maghreb, aussi bien pour les projets de mise en place des UTC que pour d'autres projets faisant partie de son champ d'intervention (environnement-actions de développement), est résumée dans le tableau 6.1.

Les trois phases correspondent respectivement aux procédures et à la chronologie d'intervention ATMS (Appui Technique et Méthodologie Solidaire).

Cette démarche est complétée par une fiche-questionnaire relative à la présélection d'un site d'implantation d'une UTC. Dans ce cas, le questionnaire comprend les principales rubriques suivantes :

- Présentation de l'institution concernée par le projet.
- Désignation du responsable de suivi.

- Contexte global de la zone concernée (démographie, infrastructures, climat, ressources en eau et en sols, activités socio-économiques, sites historiques et archéologiques, état actuel des différentes composantes environnementales, approvisionnement en eau potable...).
- Potentialités du milieu.
- Contraintes environnementales et institutionnelles.
- Raisons de demande d'appui adressé à la cellule ATMS d'ENDA-Maghreb.
- Actions spécifiques attendues.
- Sources habituelles de financement.

Comme il est indiqué dans le tableau 6.1, d'autres documents-clés sont élaborés et approuvés : le Cahier de charge ou CPS et les Conventions de partenariat ou protocoles d'accord.

### **3. PROPOSITION D'AMÉLIORATION DE LA DÉMARCHE**

#### **3.1. Implication de la population dans le processus de planification du projet**

Faire participer la population et l'impliquer dans la gestion intégrée des déchets sont des éléments-clés de la réussite de projets dans ce domaine.

Un exemple concret vécu dans le projet en cours à Tiflet réside dans la gestion des conflits et des réticences de la collectivité ethnique (fraction des Mhatmi Aït Ali Oulahssen).

L'implication de la population dans le Pourquoi et le Comment de la gestion des déchets se fera selon un procédé de communication et d'information dans les deux sens.

Quand la population est intéressée par le projet de gestion des déchets de sa commune, elle demande à être aussi impliquée dans le processus de la prise de décision : elle devient sensibilisée à la réduction des nuisances. Cette démarche représente un cadre éducationnel concret et palpable.

**Tableau 6.1. Démarche du cycle de projet technique (ENDA-Maghreb)**

<b>Phase I : Diagnostic / Identification</b>	
Étapes	Résultats
I.1. Collecte d'informations générales (Questionnaire ATMS)	Base informative pour la suite de l'intervention
I.2. Analyse du questionnaire ATMS	Restitution de l'analyse et programmation d'une mission d'identification
I.3. Mission d'identification	Présentation du rapport de mission et programmation d'une étude de pré-faisabilité
I.4. Étude de pré-faisabilité	Rapport d'étude présentant plusieurs solutions alternatives
Résultat de la phase I : Descriptif précis de la problématique environnementale locale et choix d'une solution technique	
<b>Phase II : Formulation et montage du projet</b>	
Étapes	Résultats
II.1 Étude de faisabilité technique	Modalités techniques précises de mise en œuvre - Cahier des Prescriptions spéciales (CPS)
II.2 Étude de faisabilité financière	Prévisions budgétaires pour la maîtrise d'ouvrage et la gestion future
II.3 Formulation du projet	Fiche technique, dossier de recherche de financement complémentaire
Résultat de la phase II : Dossier technique et économique complet, apte à la programmation des travaux et à la recherche de financements complémentaires	
<b>Phase III : Mise en œuvre et gestion expérimentale</b>	
Étapes	Résultats
III.1 Planification des travaux budget	Planning de maîtrise d'ouvrage et validé
III.2 Suivi des travaux	Réalisation conforme au CPS
III.3 Gestion expérimentale	Affinage des paramètres de gestion
III.4 Formation du personnel	Ressources humaines locales compétentes
Résultat de la phase III : Dispositif technique fonctionnel remis au demandeur - fin de l'intervention ATMS	

### **3.2. Adoption de la méthode de planification des projets par objectifs (PPO)**

L'application de cette méthode, basée sur l'approche participative, aux différentes étapes du projet (depuis la conception jusqu'à l'exploitation), permet de :

- bien planifier le projet ;
- gérer les effets des facteurs externes ;
- produire des indicateurs de suivi-évaluation et d'impact ;
- garantir une viabilité et une durabilité du projet en impliquant tous les concernés (représentants des ministères de la santé, de l'environnement et de l'agriculture, ONG, associations, récupérateurs, représentants de la commune et de la population, usagers potentiels du compost, université locale, spécialistes, experts, etc.).

Cette manière de procéder peut renforcer la démarche adoptée par ENDA-Maghreb.

Les principales étapes analytiques de cette méthode PPO (méthode allemande appelée ZOOP adaptée de Logical Framework) sont succinctement exposées ci-après. Un animateur spécialiste de l'approche participative et du PPO se chargera de la modération d'un atelier.

Ce dernier d'une durée minimale de trois jours traitera les différentes étapes analytiques rapportées succinctement ci-après.

On tâchera de donner, à chaque fois, un exemple en relation avec la thématique relative à la gestion des déchets et à l'élaboration d'un projet de compostage.

#### **3.2.1. Analyse des concernés**

Cette analyse permettra de lister et regrouper en entités homogènes ceux qui sont concernés par le projet et d'identifier les craintes et attentes de chaque catégorie des concernés ainsi que leurs contributions successives à la réussite du projet. Ceci reviendra à remplir la matrice présentée dans le tableau 6.2.



**Tableau 6.2. Analyse des concernés (exemple fictif)**

Concernés	Attente du projet	Craintes	Apport pour le projet
Commune	Protection de l'environnement Couverture totale ou partielle du coût par vente de compost	Manque de soutien de la population Conflit	Part de financement Commandement et suivi des travaux Sensibilisation
Population locale	Propreté	Acquisition de terrain	Soutien et tri à la source
Concerné 3			
Concerné 4			
etc.			

### ***3.2.2. Analyse et hiérarchisation des problèmes***

Cette étape consistera à formuler (par brainstorming) un problème de départ ou problème central et en déduire les causes et les effets. Cette logique de cause à effet permettra de construire l'arbre des problèmes qui sont exprimés en termes négatifs.

L'exemple de l'arbre des problèmes (Figure 6.1) permet d'illustrer les principaux problèmes liés à la gestion des déchets au niveau des petites et moyennes communes ainsi qu'au niveau des petits centres urbains. Il montre également les liens existant entre les problèmes de base (causes reprises dans le bas de la page), le problème central (ou problème de départ) et les effets qu'il occasionne.

### ***3.2.3. Analyse et hiérarchisation des objectifs***

Cette étape consiste à convertir la logique causes-effets dans l'arbre des problèmes à la logique moyens-fins pour la hiérarchisation des objectifs. La formulation des objectifs consiste à convertir, en modifiant si nécessaire, les problèmes en termes positifs exprimés au participe passé. Ainsi, on obtient l'arbre des objectifs relatif à l'exemple fictif (Figure 6.2).

### ***3.2.4. Analyse des alternatives***

L'analyse des objectifs a permis de formuler l'objectif du projet «*la gestion des déchets ménagers est maîtrisée*». Cet objectif n'est atteint que si les sous-objectifs sont réalisés. Ces objectifs deviennent ainsi

des résultats à atteindre pour pouvoir réaliser l'objectif du projet. Toutefois, comme il n'est pas possible de s'attaquer à l'ensemble des sous-objectifs formulés (Cf. Figure 6.2), il convient de faire un choix d'alternatives sur la base des critères de faisabilité en considérant le contexte socio-économique, l'enveloppe financière dont on peut disposer et l'impact sur l'environnement. Une analyse coûts-avantages peut être adoptée lors de cette étape.

### 3.2.5. Formulation des résultats

Dans le cas de l'exemple fictif, les sous-objectifs ou résultats à réaliser pour atteindre l'objectif et qui sont choisis (à titre d'exemple) comme alternatives sont :

- Résultat  $R_1$  : la collecte des déchets est maîtrisée.
- Résultat  $R_2$  : la décharge contrôlée pour les matières non compostables est mise en place.
- Résultat  $R_3$  : le recyclage des déchets par compostage et la valorisation du compost pour la l'amélioration des sols agricoles sont opérationnels.

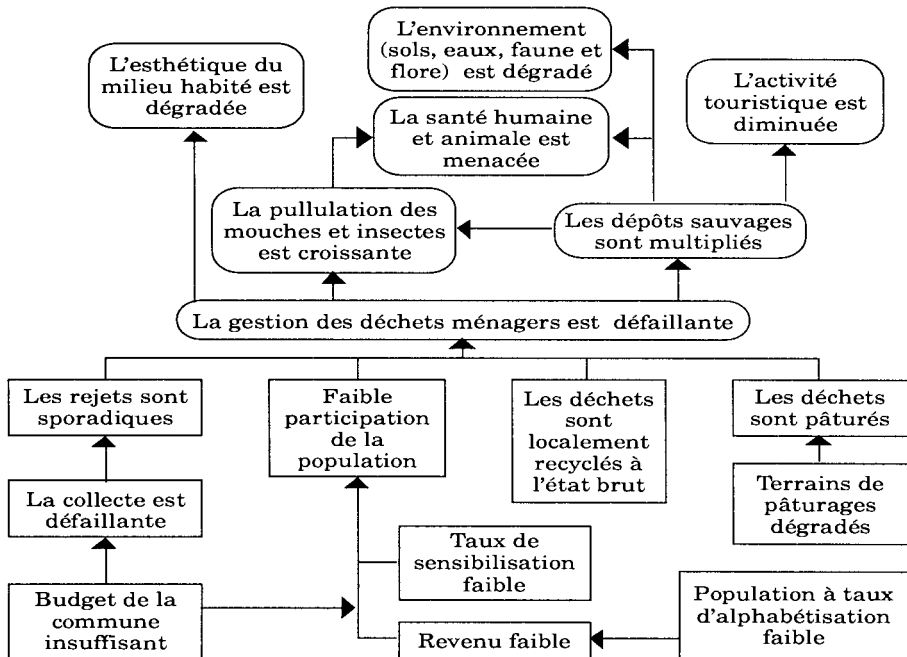


Figure 6.1. Exemple fictif de la hiérarchie des problèmes

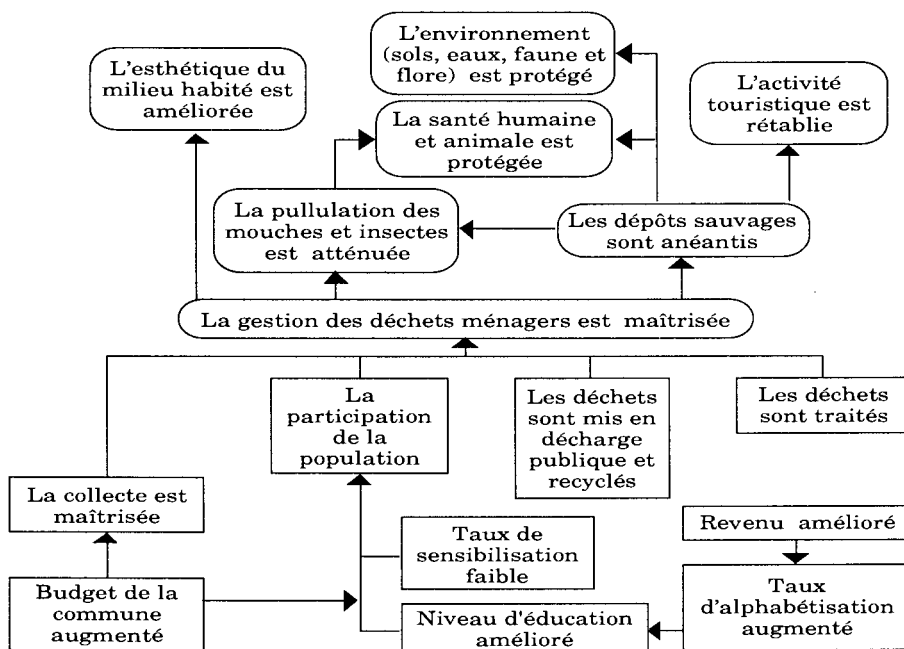


Figure 6.2. Exemple fictif de la hiérarchie des objectifs

### 3.2.6. Formulation des activités pour chaque résultat

Étant donné la thématique traitée dans le présent manuel, on se propose de lister les principales activités permettant d'atteindre le résultat  $R_3$ . Pour l'exemple traité, les deux autres résultats sont obligatoires et le résultat  $R_2$  ne peut être atteint si le résultat  $R_1$  ne l'est pas.

Ainsi, la liste des activités à réaliser pour atteindre le résultat  $R_3$  est comme suit :

- Activité 3.1. Identifier le but du projet de compostage.
- Activité 3.2. Identifier la nature du projet : tri à la source, tri à l'unité, déchets ménagers ou déchets combinés avec les boues d'une station d'épuration.
- Activité 3.3. Rechercher des partenariats et des supports politiques pour le projet (acceptabilité, il s'agit là d'un bon exemple qui montre l'importance de l'étape réservée à l'analyse des concernés).
- Activité 3.4. Identifier le site potentiel et les facteurs environnementaux (cette activité peut être subdivisée en d'autres

sous-activités relatives aux études spécifiques comme l'étude d'impact, etc.

- Activité 3.5. Identifier les possibilités d'utilisation et de commercialisation du compost.
- Activité 3.6. Organiser des programmes de sensibilisation et d'information (la population à proximité de l'unité peut exprimer une réticence à l'installation de l'unité de compostage).
- Activité 3.7. Identifier et quantifier les matières Compostables et d'autres matières à co-composter avec la fraction des déchets ménagers compostables (une caractérisation préalable en tenant compte des variations saisonnières est primordiale).
- Activité 3.8. Évaluer la faisabilité des différentes filières de compostage et les opérations amont comme le tri à la source.
- Activité 3.9. Finaliser le budget final en considérant les financements extérieurs.
- Activité 3.10. Construire et équiper l'unité de tri-compostage.
- Activité 3.11. Initier les opérations de compostage et de suivi.

### **3.2.7. *Élaboration du schéma de planification du projet (SPP)***

Le SPP consiste à remplir la matrice rapportée dans le tableau 6.3. En plus de l'identification du projet et la formulation de ses objectifs et de ses finalités (objectif global), on procède à la formulation de trois rubriques importantes : les indicateurs objectivement vérifiables et les sources de vérification pour garantir le suivi et le contrôle de la réalisation ainsi que les «suppositions» qui mesurent le risque d'échec du projet.

Si les suppositions ne sont pas atteintes, le projet risque de ne pas avoir lieu et les planificateurs seront amenés à changer d'alternatives ou à ajouter d'autres résultats et activités pour anéantir le risque. En effet, certaines suppositions peuvent être fatales comme un conflit avec une collectivité ethnique, une réticence de la population ou un manque de support politique.

Cette approche de planification par PPO ou Logical Framework, basée sur la participation de tous les concernés, permet de :

- bien ficeler le projet en analysant les craintes et les attentes de toutes les parties et en formulant les résultats et activités avec leurs indicateurs objectivement vérifiables (IOV) permettant de mesurer leur degré réalisation ;

- de fournir aux bailleurs de fonds une requête finalisée et émanant de toutes les parties concernées. Au stade de la requête du financement, on ajoute au SPP (Tableau 6.3.), un cadre estimatif des coûts de chaque activité.

**Tableau 6.3. Exemple d'un schéma de planification du projet (SPP) (exemple fictif)**

Gestion Intégrée des Déchets Phase : 01/04/2000 au 28/02/2001 Date de planification : 15/04/2000

Objectif Global : l'environnement et la santé humaine sont sauvegardés	Indicateurs objectivement vérifiables	Source de vérification	Suppositions
Objectif du projet : la gestion des déchets solides est maîtrisée			Le projet est approuvé par les autorités locales et la commune
Résultats :			
R1 : la collecte des déchets est maîtrisée	1.1. Le taux de collecte est passé de 10% à 70% en septembre 2000 et 95% en mars 2001	1.1. Dossier de suivi des opérations de collecte	
R2 : la décharge contrôlée pour les matières non compostables est mise en place	2.1. La décharge contrôlée est mise en place en septembre 2000	2.1. Bon de réception des travaux	
R3. Le recyclage des déchets par compostage et la valorisation de compost pour l'amélioration des sols agricoles sont opérationnels	3.1. L'unité de compostage est opérationnelle en mars 2001	3.1. Résultats d'analyses de qualité du produit final et rapports de suivi	
Liste des activités : voir exemple ci-dessus relatif à la liste des activités du résultat R3 :			
Exemples :			
A 3.3. Rechercher des partenariats et des supports politiques pour le projet	2.3.1. Le projet est approuvé en mai 2000		- Le terrain est disponible et le site est sans impact négatif sur l'environnement
A 3.4. Identifier le site potentiel et les facteurs environnementaux	2.4.1. L'étude de choix de site et l'étude de pré-impact sont achevées en juin 2000		- La population locale contribue au projet - Un partenariat avec l'association locale est mise en place
Le cadre estimatif du projet			

Une fois le financement obtenu et la phase de projet arrêtée, on procède à un autre atelier d'actualisation de la planification. Immédiatement avant le démarrage du projet, on procède à l'élaboration du Plan d'Opération comme indiqué (à titre d'exemple) dans la matrice rapportée dans le tableau 6.4.

**Tableau 6.4. Exemple de matrice du Plan d'Opérations (phase 1 : 1/4/2000 au 31/03/2001)**

Activités	Responsable	Calendrier de déroulement	Contribution de la commune	Contribution du bailleur de fonds extérieur	Remarque
		A M J Jt A S O N D J F M			
A1.1	ENDA-COMMUNE	x x x	0.5HM	0 Dollars2 HM X dollars	S'inspire du projet Tiflet/Maroc
A1.2	ENDA-COMMUNE				
	-Association x	x x x			
A1.3		x x x x			
...					
A2.9					
				x x x	
A2.10				x x	

#### 4. CONSIDÉRATIONS COMPLÉMENTAIRES

Le compostage des déchets ménagers a deux avantages complémentaires :

- Le recyclage des matières organiques et leur valorisation.
- L'assainissement.

Composter les déchets ménagers et les valoriser revient à modifier leur cours. Au lieu d'être déposés et disséminés dans les milieux naturels (forêts, cours d'eau, proximité de captage de l'eau potable, etc.), ils sont en grande partie déviés vers des usages bénéfiques.

Ces usages sont, le plus souvent, agricoles. Chacun des deux avantages précités de compostage a un poids relatif variable avec le contexte local et régional. Mais tous deux doivent être soigneusement pris en compte dans l'élaboration d'un projet de compostage

Sur le plan économique, trois études clés doivent être menées préalablement à la suggestion d'une unité de tri-compostage avec décharge contrôlée des matières non Compostables et récupération des matériaux recyclables. Le contenu de ces études est rapporté dans l'encadré 6.1.

##### **Encadré 6.1. Études préalables à la mise en place d'une unité de compostage couplée à une décharge avec ou sans récupération**

###### **Étude d'opportunité**

Cette étude consiste à diagnostiquer sur la base des données existantes et immédiatement disponibles si l'adoption de la technique de compostage a des chances d'aboutir dans le contexte considéré Cette première phase permet d'aider à décider de l'opportunité d'engager les dépenses nécessaires à une étude plus importante. Cette étude débouche aussi sur la formulation de quelques scénarios. Cette présélection fera l'objet d'une étude détaillée de faisabilité.

###### **Étude de pré-faisabilité**

Cette étude reprend les options identifiées lors de l'étude d'opportunité et fait appel aux scénarios générés par l'étude de marché. Ainsi, les différents scénarios sont comparés entre eux et à une situation de gestion de déchets sans la filière de compostage et évalués économiquement. Cette étude se solde ainsi par une pré-sélection des scénarios jugés les meilleurs qui feront l'objet de l'étude de faisabilité détaillée.

**Étude de faisabilité détaillée**

Cette étude permettra d'approfondir les composantes insuffisamment analysées et d'aboutir au choix du niveau technologique de compostage et des filières annexes (décharge contrôlée et recyclage). L'étude se termine par une analyse financière et l'élaboration des plans d'exécution.



## Chapitre 7

## DIRECTIVES SANITAIRES, ENVIRONNEMENTALES ET ÉDUCATIONNELLES

### 1. INTRODUCTION

La matière fermentescible ne présente pas de risque de toxicité en soi, mais sa présence dans des milieux récepteurs demeure la principale cause de contamination des sols et des eaux.

Par rapport aux autres filières d'élimination des déchets (Tableau 7.1), le compostage offre des avantages certains sur le plan environnemental.

**Tableau 7.1. Inconvénients des filières d'incinération et d'enfouissement**

Filière	Inconvénients
Incinération	<p>La teneur en eau élevée abaisse la température des fours et réduit la qualité de la combustion des déchets.</p> <p>Synthèse de produits hautement toxiques comme les Dioxines et les furannes.</p>
Enfouissement non sécurisant	<p>La fermentation en absence d'oxygène concourt à la production de biogaz nauséabond et explosif.</p> <p>Migration et accumulation du biogaz dans les environs</p> <p>Dommages à la santé et à la végétation</p> <p>Effet de serre</p> <p>Décomposition de la matière organique et acidification du milieu ce qui facilite la mobilisation des polluants métalliques</p>
Enfouissement sécurisant	<p>Exige des techniques de confinement complexes et onéreuses : imperméabilisation, traitement et recirculation des eaux de lixiviation, captage de biogaz, etc.</p>

À ce niveau, on se propose d'évoquer un certain nombre de directives environnementales, sanitaires et d'ordre éducatif relatives aux projets de compostage

## **2. DIRECTIVES ENVIRONNEMENTALES**

### **2.1. Choix du site**

Le choix du site est d'une importance capitale pour éviter des oppositions de la part de la population avoisinante à cause des odeurs éventuelles et pour que le projet soit conforme aux règles de protection de l'environnement et de préservation de la qualité des ressources naturelles.

Ce choix doit tenir compte des aspects suivants :

- Le risque de transfert de polluants vers les eaux de surface et les eaux souterraines ; le site doit être loin des eaux de surface et des captages de l'eau potable d'une distance d'au moins 500 m.
- La dissémination d'une masse microbienne ou de contaminants dans l'air par le biais de poussières et spores.
- La distance par rapport à la zone de production de déchets.
- La distance par rapport à la décharge contrôlée ou au centre d'enfouissement technique.
- Les antennes et pistes d'acheminement des déchets.
- Les conditions géotechniques.
- Les risques d'engorgement.
- La proximité des patrimoines historiques et archéologiques.
- Les possibilités d'extension du site.
- La proximité des captages d'eau potable.
- La distance par rapport aux lieux d'utilisation.

Pour ces raisons, il est fortement recommandé d'installer l'unité de compostage dans un site qui regroupe la décharge contrôlée et/ou une station d'épuration des eaux usées. Ceci a deux avantages :

- Le site ayant déjà fait l'objet d'études d'impact sur les voisinages en tenant compte de la direction des vents dominants et d'autres facteurs de proximité.
- Ce choix est en conformité avec le principe de gestion intégrée des déchets liquides et solides (recyclage et récupération des matières

non compostables, décharge contrôlée pour le refus non compostable et non recyclable, co-compostage des déchets ménagers avec les boues résiduaire issues de stations d'épuration, etc.).

## 2.2. Aménagements préservateurs de l'environnement

Comme il a été énoncé auparavant, des aménagements supplémentaires intra-site ou périphériques s'avèrent nécessaires pour se prémunir d'un certain nombre d'effets indésirables :

- Les brises - vents pour atténuer le problème des odeurs et le pouvoir évaporateur.
- Une zone tampon autour de l'unité de compostage ou du complexe compostage - décharge.
- Une étanchéité ou imperméabilisation de l'aire de fermentation pour éviter les infiltrations verticales des lixiviats vers les eaux souterraines ; plusieurs schémas d'aménagement sont disponibles et assez connus en ingénierie de génie civil.
- Aménager l'aire de compostage en pente et avec des drains permettant la collection des lixiviats et leur écoulement vers un bassin réceptacle. Les eaux de lixiviats doivent être traitées comme des eaux usées ou évaporées. Leur recyclage sur les tas en compostage n'est pas recommandé à cause de leurs teneurs en germes pathogènes. Ce recyclage est surtout à éviter après la phase d'assainissement thermique.

Afin de montrer le danger environnemental des lixiviats, on se propose de rapporter dans le tableau 7.2 la composition chimique des lixiviats et des eaux de lessivage des ordures ménagères brutes. Les normes de rejets imposées aux lixiviats par AGHTM (1990) sont montrées dans le tableau 7.3.

Il est utile d'informer le lecteur que dans les unités modernes de compostage, on fait appel à des équipements sophistiqués pour répondre à des exigences environnementales plus strictes :

- Système de contrôle des poussières.
- Système de protection contre les incendies.
- Système de contrôle des odeurs.

**Tableau 7.2. Composition chimique des lixiviats des eaux de lessivage des ordures ménagères (a) en fermentation à l'Unité de Traitement des Ordures Ménagères (UTOM) de Rabat/Maroc et (b) de la décharge de Tanger (âge > 2 années)**

Paramètre	Valeurs.....	
	(a)	(b)
pH	5,0	7,1
CE (mS/cm)	32,0	48
Autres caractéristiques exprimées en mg/l		
C organique	19218	4500
N total	2400	-
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	380	1407
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22,4	868
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	3,4	5,3
Cl <sup>-</sup>	10106	17750
Na <sup>+</sup>	2760	-
K <sup>+</sup>	6250	10257
Mg <sup>++</sup>	2280	905
Cd	2	0,4
Cu	10	2
Zn	75	12,5
Pb	30	1,8
Ni	4	traces
Fe	1700	65
Mn	71	1,7

**Tableau 7.3. Normes de rejets imposées aux lixiviats des déchets**  
(D'après A.G.H.T.M., 1990)

Paramètres	Valeur limite
Température	< 30 °C
pH	6,5-8,5
Autres caractéristiques exprimées en mg/l	
MES	30
O <sub>2</sub> dissous	3
DBO	120
DCO	120
Métaux lourds	
Cr	0,1
Hg	0,1
Pb	1
Cu	1
Cd	1
Fe	2
CN	0,1
Phénols	0,5
Hydrocarbures	5
Sulfates	250
Nitrates	45

### **3. DIRECTIVES SANITAIRES**

Bien que le compostage ne présente que de faibles risques, un certain nombre de précautions méritent d'être prises. En effet, dans une unité de compostage, l'impact des déchets sur la santé peut se manifester au moment de l'opération de tri qui occasionne un contact des ouvriers avec les déchets bruts et frais. Si des précautions ne sont pas prises, il y a risque de maladies respiratoires, oculaires, de peau, parasitologiques et bactériennes.

Ainsi, les principales précautions à prendre sont les suivantes :

- Les ouvriers faisant le tri d'ordures doivent porter des masques, des gants, des bottes et des combinaisons.
- Après chaque opération, les ouvriers sont appelés à se laver les mains avec une eau javellisée.
- Si le compostage est mécanisé, des précautions doivent être prises pour éviter les projections de pierres ou d'autres matériaux solides ou tranchants au moment des retournements.
- Des incendies sont rares, mais peuvent surgir durant la phase thermophile si la teneur en eau est inférieure à 30% et les tas ont une hauteur supérieure à 2,5 m. La disponibilité d'une source d'eau à proximité répond aux besoins d'arrosage, mais aussi représente une mesure de sécurité.

Il est aussi important d'interdire l'accès aux animaux : le pâturage sur les déchets est une pratique assez courante dans les pays en développement.

En résumé, on peut dire que la technique elle-même du compostage en tant que processus ne présente aucun danger incontrôlable pour la santé ou pour l'environnement. Toutefois, le compostage requiert une gestion adéquate des eaux de lixiviation et des odeurs afin d'éviter les impacts sur l'environnement et surtout sur la qualité de vie du voisinage.

### **4. DIRECTIVES ÉDUCATIONNELLES ET DE VULGARISATION**

#### **4.1. À l'amont**

Comme il a été mentionné auparavant, l'implication de la population dans la gestion des déchets s'avère obligatoire. Pour cela, la

population doit être à la fois sensibilisée aux impacts des déchets sur la santé et l'environnement et convaincue des bienfaits d'une gestion intégrée des déchets adaptée au contexte général du milieu.

Pour une bonne réussite des projets de couplage : compostage – recyclage-décharge contrôlée, la participation de la population à l'amont est d'un grand intérêt. En effet, les pratiques de réduction des déchets à la source comme le retour au couffin et l'utilisation rationnelle des sachets de plastique non biodégradables aideront à la réussite du compostage et à l'obtention d'un compost de grande valeur commerciale et utilisable sans aucun risque sur l'environnement et sur la santé humaine et animale. Aussi, si on réussit à instaurer le tri à la source, les trois composantes de gestion intégrée des déchets (récupération, compostage et décharge contrôlée) deviendront faciles à maîtriser.

#### **4.2. À l'aval**

L'intéressement des agriculteurs ou d'autres usagers de compost doit passer par les actions suivantes :

- Les essais de démonstration permettant de mettre en exergue la qualité du compost et sa valeur fertilisante.
- Une garantie de la stabilité de composition du compost.
- L'encadrement des agriculteurs par les services de vulgarisation agricole.
- L'organisation des journées «portes ouvertes» à l'UTC au profit des usagers du compost et des élèves des différents établissements scolaires.

La photo 7.1 illustre la visite de l'UTC de Bab Lamrissa par des enseignants et jeunes écoliers.



**Photo 7.1. Sensibilisation des jeunes scolarisés et du milieu enseignant à l'UTC de Bab Lamrissa, Salé**

## **5. DIRECTIVES DE SUIVI ET DE SURVEILLANCE**

### **5.1. Phase de rodage**

Durant la première année de mise en marche de l'unité de compostage, il est nécessaire d'étoffer les mesures de suivi aussi bien du processus de compostage que de la qualité du compost obtenu. Durant cette première année, une formation de l'agent technique responsable de l'unité et des ouvriers doit être assurée.

### **5.2. Essais agronomiques**

L'implication des chercheurs dans l'élaboration des directives et des fiches techniques d'utilisation du compost à travers les essais agronomiques s'avérera d'une grande utilité.

### **5.3. Évaluation de l'impact sur la qualité des sols et des produits agricoles**

Cette évaluation concerne aussi bien les impacts positifs (valeur fertilisante, amélioration des rendements agricoles, économie des engrais minéraux, amélioration de la qualité des sols) que des impacts négatifs qui peuvent concerner, dans certaines situations, la pollution métallique.

Pour cela, il est judicieux de procéder à un diagnostic périodique :

- Compost produit : ce diagnostic doit se faire en moyenne tous les quatre campagnes de compostage ou chaque fois que les déchets bruts ont subi une variation (livraison de déchets de nouveaux quartiers, nouveaux additifs, changement au niveau des opérations de monitoring, etc.).
- La qualité hygiénique et alimentaire des produits agricoles.
- La qualité des sols : les paramètres les plus importants qui subissent des modifications significatives à moyen et long terme est :
  - \* la teneur totale et la fraction soluble des métaux lourds ;
  - \* la stabilité des agrégats (indicatrice de la structure du sol), le taux d'infiltration de l'eau dans les sols ;
  - \* la Capacité d'Échange Cationique qui traduit l'aptitude du sol à retenir les cations, la teneur en matière organique humifiée et particulièrement la teneur en substances humiques;
  - \* les teneurs en azote total, en phosphore et en potassium ;
  - \* le pH ;
  - \* la conductivité électrique qui traduit la salinité globale du sol.

Sur le plan méthodologique, ce diagnostic peut être fait sur un échantillon représentatif des exploitations agricoles utilisatrices du compost. Pour le cas d'échantillons de sols, il est recommandé de prélever des échantillons composites provenant de 6 points d'échantillonnages dans la parcelle qu'on désire diagnostiquer.



## RÉFÉRENCES

- AGHTM (1990) Les lixiviats de décharges. Le point des connaissances en 1990. *TSM L'eau* (juin 1990) : 289-314
- ANRED (1988) Le compostage et la commercialisation des composts: les nouvelles perspectives, France, Actes du colloque. Tome 1, Octobre 1988
- Anid P. (1987) Valorisation agricole du compost urbain. *Annales de Gembloux* 1981-1987 : 125-136
- Blanchette J. & Côté M.H. (1998) Norme sur le compost . Gestion et technologie agricole. <http://www.agr.gouv.qc.ca/dgpar/sites/r16e/gta/avril98/art11.htm>
- <http://www.agr.gouv.qc.ca/dgpar/sites/r16e/gta/avril98/art11.htm>
- Bolen G.J. (1984) The fate of plant pathogens during composting of crop residues. pp. 282-290 in *Composting of agricultural and other wastes*. Gasser J.K.R (Editeur) Elsevier applied science publishers, Londres.
- Buhler (1979) Traitement économique des ordures et des boues d'épuration. *Techniques de l'environnement*, 43 p.
- Chalabi (1999) Pour le Secrétariat d'Etat Chargé de l'Environnement. Enquête sur le secteur des déchets au Maroc. Problématique et approche de développement. Conférence nationale sur la gestion de déchets. Rabat, Maroc, 25-26 février.
- Cole M. (1992) Simple chemical test for compost maturity Illinois University in *Biocycle, mai*, 26 p.
- Dural J. (1992) L'élimination des phytopathogènes par le compostage. Projet pour une agriculture écologique. Agro-Bio-310-01. [http://eap.mcgill.ca/Agro Bio/ob\\_head.htm](http://eap.mcgill.ca/Agro Bio/ob_head.htm)
- EAWAG (1970) Methods of sampling and analysis of solid wastes, Swiss Federal Institute for waste supply sewage purification and water pollution control. Section of solid wastes, Dubendorf, Suisse

- El M'ssari N. (1993) Élaboration d'une méthodologie de caractérisation des ordures ménagères et du compost de l'usine de Salé. Thèse de troisième cycle. Faculté des Sciences Moulay Ismaïl, Méknès, Maroc
- ENDA-Maghreb. Rapports de suivi et d'études techniques relatifs à la gestion des déchets ménagers au Maroc. Projet de Salé Bab Lamrissa, Projet de Tiflet et Projet d'Oulmès
- Godden B. (1995) Le compostage : processus , production et utilisation in Compostage des déchets organiques, UGET 15: 6-12 , Belgique
- Gootas H.B. (1959) Compostage et assainissement. Document préparé pour l'OMS. Genève. 206 p.
- Hall J.A., Zmyslowska A., Stefanicki J. & Murray K. (1993) Co-composting MSW and Sludge in Warsaw: Finding appropriate Ratio. *Biocycle*. June
- Hirai M.F., Chayasak V. & Kubota H. (1983) A standard mesasurement for compost maturity. *Biocycle J. Waste Recycling* 24 : 54-56
- Hommani Y. (1999) Valorisation du fumier bovin au Maroc par compostage. Mémoire de fin d'études supervisé par M. Penninckx (ULB, Belgique) & B. Soudi (IAV Hassan II, Maroc)
- Jemali B. (1996) Étude du compostage et des possibilités de valorisation agricole du compost de déchets ménagers au niveau de l'UTOM de la Wilaya de Rabat-Salé des déchets ménagers. Diplôme d'Etudes Supérieures. Travail supervisé par B. Soudi B. (IAV Hassan II, Maroc) & Lhadi. E.K. (Faculté des Sciences d'El Jadida, Maroc)
- Jemali B., Soudi B. & Lhadi E.K. (1996) Contrôle des paramètres du compostage et appréciation de la qualité du compost des déchets ménagers de la Wilaya de Rabat-Salé. *Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc)* 16 (2) : 43-50
- Miliner P.D. & Ringer C.H. (1995) Effects of composts on suppression of soil-borne plant diseases. pp. 22-1 et 22-2 in 1995 Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions
- Murat M. (1981) Valorisation des déchets et sous produits industriels. Ed. Masson, Paris. 326 p.
- Mustin M. (1987) Le compost : gestion de la matière organique. Ed. François Dubusc. Paris. 954 p.

- Nabich K. (1999) Diagnostic des déchets compostables au Maroc et évaluation de la valeur fertilisante du compost de fumier. Mémoire de fin d'études supervisé par B. Soudi (IAV Hassan II, Maroc)
- NRAES (1992) On farming composting handbook
- OMS/ Bureau Régional de l'Europe à Copenhague. Urban Solid Waste Management, Editions 1985 et 1991-1993
- Oukhouya M. (1999) Étude de la valorisation agricole du compost des ordures ménagères de Rabat-Salé. Mémoire de fin d'études supervisé par B. Soudi (IAV Hassan II, Maroc)
- Rahoui M., Soudi B., EL Hadani D. & Benzakour M. (1999) Évaluation de la qualité des sols en zones irriguées : Cas des Doukkala. *Géo Observateur* 10 : 103-113
- REEM (Rapport sur l'état de l'Environnement du Maroc (1999) Projet SIDE. Secrétariat d'État à l'Environnement
- Secrétariat d'État chargé de l'Environnement (1999) Conférence nationale sur la gestion des déchets solides au Maroc
- Soudi B., Chiang C.N., Stitou M., Hachouma S.A. & Sbai A. (1992) Évaluation de la valeur fertilisante azotée des fumiers et des composts. *Actes Inst. Agron. Vét. (Maroc)* 12(3) : 5-15.
- Soudi B. & Naman F. (1999) Problématique de la gestion de la matière organique des sols en irrigué (périmètres de Tadla et des Doukkala). *Bulletin de transfert de technologie* N° 54 : 3-4 (IAV Hassan II, Maroc)
- Soudi B. (1999) Compostage et valorisation du compost : pratique d'une agriculture durable. *Bulletin de transfert de technologie* N° 54 : 1-2 (IAV Hassan II, Maroc)
- Soudi B. & Jemali A. (1998) Valorisation agricole des boues résiduaires : impact des amendements sur la dynamique de l'azote des sols. *in Proceedings of International Workshop on "Sewage Treatment and Reuse for Small Communities : Mediterranean and European Experiences"* Edited by R. Choukr Allah, IAV Hassan II
- Soudi B., Rahoui M., Chiang C., Badraoui M. & Aboussaleh A. (1999) Éléments méthodologiques de mise en place d'un système de suivi et de surveillance de la qualité des eaux et des sols dans les périmètres irrigués. *Hommes, Terre et Eaux* 111 : 13-22
- US-EPA (1977) Municipal sludge management : Environmental factors

US-EPA (1985) Decision - Makers' Guide to solid waste management

US-EPA (1995) Composting of municipal wastewater sludges, Cincinnati, OH Seminar Publication, 75 p.

Sances F.V. & Ingham E.L. (2000) Suitability of organic compost and broccoli mulch soil treatments for commercial strawberry production on the California central coast. p19. *in* Annual International Research Conference on Methyl Bromide Alternatives and Emissions Reductions.

## INDEX ALPHABÉTIQUE

### A

acides fulviques 49  
 acides humiques 49  
 acides organiques 38, 50, 66  
 activité biologique 32, 41, 43, 60  
 activités socio-économiques 11, 66, 72  
 adsorption des pesticides 60  
 aération 27, 28, 36-40, 59, 60, 62  
 aire 51, 53  
 aire d'extension 57  
 aire de compostage 41, 85  
 aire de fermentation 21, 51-53  
 aire de maturation 39, 47, 53, 54  
 aire de réception 57  
 aire de stockage 54  
 aire de stockage et de maturation 57  
 aire de tri 51  
 algues marines 30, 31  
 aménagement 40, 55, 56, 85  
 amendement 10, 27, 34, 45, 59, 60, 62, 65  
 anaérobiose 32, 33, 39, 41  
 andain 20, 21, 39, 51-53, 57, 58  
 andaineuse-retourneuse 21, 22, 36, 52, 55, 58  
 arboriculture fruitière 19  
 arbre des objectifs 75  
 arbre des problèmes 75  
 arbres forestiers 50  
 arbres fruitiers 50  
 arrosage 27, 33, 53, 57, 87  
 assainissement 12, 17, 34, 35, 50, 81, 85

### B

Bab Lamrissa 16, 17, 37, 53, 58, 88  
 bactéries 34  
 betterave sucrière 63  
 biodégradabilité 29, 43  
 biodégradation 10, 26, 27, 30, 32, 36, 39, 48, 54

biodégradation aérobique 26, 32  
 biogaz 83  
 bois de taille 65  
 boues activées 31  
 boues résiduaires 30, 62, 85  
 brises-vents 85  
 broyage 43, 48, 54, 55  
 broyeur 21, 22, 55

### C

C/N 28, 30, 31, 40, 41, 42, 45, 48  
 capacité d'échange cationique 46, 59, 64, 89 *Voir aussi CEC*  
 capacité de rétention de l'eau 59  
 carcasses de poulets 31  
 Casablanca 10  
 CEC 59, 60, 63, 64  
 centres urbains 11, 12, 26, 75  
 céréales 19, 63  
 champignons 34  
 chiendent 31  
 co-compostage 85  
 collecte 9, 12, 13, 16, 17, 28, 55, 73, 79  
 collecte des déchets 76, 79  
 collectivités locales 9, 12, 16  
 commercialisation 43, 59, 65, 67-69, 78  
 communes 11, 13, 15, 16, 23, 26, 28, 44, 65, 67, 75  
 compost 10, 11, 17, 21-23, 26-28, 30-35, 41-50, 54, 55, 59-70, 74-76, 78, 79, 88-90  
 compostage 10, 11, 15, 16, 20, 22-24, 26-30, 32-41, 44, 48, 54, 55, 57-61, 67-70, 73, 74, 78-81, 83-91  
 compostage en tas 27  
 conditions anaérobiques 63  
 contraintes de gestion 12  
 couffin 88  
 coûts de fonctionnement 22

criblage 29, 39, 43, 44, 54, 55

cribleur 54

cultures florales 63

cultures fourragères 19

cultures maraîchères 18, 19, 63

cultures sous serre 66

## D

décharge contrôlée 16, 17, 19-23, 29, 51, 76, 79, 81, 82, 84, 88

décharges sauvages 9, 12

déchets 9-14, 16-19, 21, 23-32, 36, 39, 51-54, 57, 58, 62, 65, 72, 74-77, 79, 81, 83, 84, 86-89

déchets compostables 24, 29

déchets ménagers 9-12, 14-16, 18-20, 23-26, 31, 32, 34, 35, 38, 40, 41-45, 48, 62, 64, 65, 68, 71, 75, 77, 78, 81, 85

déchets non compostables 20, 23

décomposition 26, 34, 46, 83

déjections animales 30

dessèchement 33, 41, 63

destruction des germes pathogènes 35

détritus de poissons 30

directives 9, 11, 12, 64, 67, 83, 84, 87, 89

dispositifs expérimentaux 69

doses 49, 62, 63, 67, 69, 70

doses d'application 63

## E

eaux souterraines 53, 59, 65, 84, 85

écumes de sucrerie 65

éducation des ménages 28

éléments nutritifs 27, 30, 31, 37, 41, 59, 60-63, 69

enfouissement 16, 17, 83, 84

engrais 31, 48, 60, 62, 66, 69, 89

enrichissement du produit final 43

environnement 12-14, 21, 44, 46, 51, 66, 67, 71, 74-76, 79, 84, 85, 87, 88

épluchures 30

espace lacunaire 32, 36, 41

espaces verts 63, 66

essais agronomiques 60, 62, 68, 69, 89

évaporation 32, 36, 55

exploitations agricoles 66, 90

## F

faculté germinative des graines 49

fermentation 20-22, 27, 40, 43, 48, 50-53, 83, 85, 86

fientes 31

fleurs 63

fumier 31, 34

## G

gaz nocif 63

gazon 31, 63

germes pathogènes 34, 35, 85

gestion des conflits 72

gestion des déchets 11, 13, 16, 23, 25, 72, 74, 75, 87

gestion des déchets ménagers 9, 11, 12, 71, 75

gestion intégrée des déchets 20, 23, 72, 79, 84, 88

grignon d'olives 65

## H

humidité 9, 10, 24, 27, 28, 30-33, 36, 38-41, 43-45

## I

imperméabilisation 83, 85

imperméabilisation de la plate-forme 53

implication de la population 72, 87

incinération 23, 83

incinération des déchets 9

infiltration de l'eau 89

informations techniques 66

## L

lixiviat 18, 21, 22, 51, 53, 55, 85, 86

lixiviation 41, 60, 61, 83, 87

## M

marc de café 31

marc de raisin 65

Marrakech 10

matière fermentescible 83

matière organique 10, 18, 19, 45, 46, 59, 60, 61, 65, 83, 89

- matières compostables 11, 24, 28, 29, 43, 44, 78  
matières fermentescibles 24, 24  
matières organiques 30-32, 34, 43, 48, 61, 81  
matières organiques compostables 9, 31  
matières recyclables 24, 65  
maturation 43, 44, 53, 54, 57  
maturité 45-47, 49, 50, 61, 66  
mauvaises odeurs 32, 39, 41, 47  
Meknès 10  
métaux lourds 28, 29, 37, 46, 60-65, 67-69, 86, 89  
micro-organismes 26, 30, 32-35, 37, 43  
minéralisation 27, 60, 61, 63  
mise en place d'une unité de tri-compostage 21, 51
- N**
- nématodes 34  
normes 10, 12, 26, 44-46, 63, 64, 85, 86  
normes de qualité 44  
nuisances 9, 72
- O**
- oligo-éléments 30, 31, 43, 61, 62  
ordures ménagères 10, 28, 31, 60, 66, 85, 86  
organismes saprophytes 59  
Oulmès 16, 17, 19, 20, 21, 22
- P**
- paille 30, 31, 42, 43  
papier 24, 25, 29, 30-32, 49  
pathogènes 34, 35  
pays en développement 9, 24, 25, 30, 45, 87  
pays en voie de développement 10, 11  
pays industrialisés 24, 25  
pépinières 18, 22, 50, 61-63, 66-69  
pH 37, 38, 45, 46, 64, 86, 89  
phyto-toxicité 43, 46, 49  
phytopathogènes 34, 59, 60  
plantes aquatiques 55  
plantes ornementales 50, 62, 63, 68  
plate-forme 53  
pots de cultures 61  
pouvoir épuratoire 55  
précautions à prendre 67, 87  
précurseurs de l'humification 49, 66  
prix 21, 62, 67, 68  
processus aérobique 36  
processus de compostage 28, 30, 33, 38-40, 44, 89  
processus d'humification 50  
processus du compostage 40  
production de déchets 9, 84  
promotion du tri 65  
propriétés des sols 27, 66  
protection des ouvriers 51
- Q**
- qualité des ressources naturelles 84  
qualité des sols 60, 89  
qualité du compost 10, 26, 28, 44, 46, 47, 49, 61, 67, 88, 89  
qualité hygiénique 67, 89
- R**
- Rabat 10, 17-19, 25, 48, 86  
Rabat-Salé 15, 52, 66  
rapport nitrate/ammonium 48  
récupération 16, 17, 19, 21, 22, 55, 65, 81, 84, 88  
recyclage 12, 16, 17, 19, 20, 23, 29, 51, 76, 79, 81, 82, 84, 85, 88  
références 90  
réhabilitation des sols dégradés 11, 50, 66  
rejets 12, 85, 86  
résidus d'abattoirs 31  
ressources en eaux et en sols 9  
restes de nourriture 30  
retournement 20, 21, 36, 37, 39, 41, 43, 52, 53, 57, 58, 87  
risque de pollution 65
- S**
- Salé 16, 17, 20, 37, 38, 39, 53, 58, 88  
santé 74, 79, 83, 87, 88  
santé humaine et animale 9, 44, 88  
sciure 31, 42  
sciure de bois 30, 42  
site d'implantation 22, 71  
sols sableux 60, 63, 64  
station d'épuration des eaux usées 84

stockage 12, 22, 53-55, 57, 66, 67  
structure du sol 59, 89  
substances humiques 26, 27, 43, 46,  
49, 60, 61, 89  
substrats de plantation 63  
substrats horticoles 50, 61  
suivi-évaluation 74  
sylviculture 66

**T**

tas 26, 27, 30-33, 35-37, 39-41, 43, 52,  
53, 55, 57, 85, 87  
tas de compostage 36  
techniques de traitement 9  
température 17, 18, 27, 28, 33-39, 41,  
43, 47, 83, 86  
teneur en eau 31, 32, 33, 36, 41, 42,  
44, 45, 65, 83, 87  
test de chromatographie 49  
test de pH 48  
test de ré-humidification 47  
test de tamisage 47

test du chrome 48  
Tiflet 16-18, 20-22, 72, 80  
tontes de gazon 30  
tracto-pelle 55  
traitement 9, 10, 12, 17, 19, 22, 25,  
29, 55, 66, 69, 70, 83, 86  
tri 11, 75, 77, 78, 87, 88  
tri d'ordures 87  
tri-compostage 15, 17, 21, 51, 53, 56,  
78, 81

**U**

unité de compostage 10, 56-58, 71, 78,  
79, 81, 84, 85, 87, 89  
unité de récupération 22, 65  
UTC 15-20, 22, 23, 28, 37, 51, 53, 58,  
65, 67, 71, 88

**V**

valorisation 11, 16, 17, 25, 59, 67, 76,  
79, 81  
virus 34



## TABLE DES MATIÈRES

<b>SOMMAIRE .....</b>	<b>5</b>
<b>PRÉFACE .....</b>	<b>7</b>
<b>PROBLÉMATIQUE DE GESTION DES DÉCHETS MÉNAGERS AU MAROC .....</b>	<b>9</b>
1. INTRODUCTION .....	9
2. GESTION DES DÉCHETS MÉNAGERS .....	11
2.1. Volume de déchets produits .....	11
2.2. Contraintes de gestion .....	12
<b>PROJETS-PILOTES DE COMPOSTAGE DES DÉCHETS MÉNAGERS DANS LES PETITES ET MOYENNES COMMUNES .....</b>	<b>15</b>
1. INTRODUCTION .....	15
2. CARACTÉRISATION DES TROIS PROJETS UTC .....	15
2.1. Description générale .....	15
2.2. Zones d'implantation des trois projets .....	16
2.2.1. Projet 1- Site de Bab Lamrissa à Salé .....	17
2.2.2. Projet 2- Site de Tiflet .....	18
2.2.3. Projet 3- Site d'Oulmès .....	19
2.3. Composantes des trois projets UTC .....	19
2.4. Niveau technologique et coûts des UTC .....	20
<b>COMPOSTAGE DE DÉCHETS MÉNAGERS .....</b>	<b>23</b>
1. INTRODUCTION .....	23
2. COMPOSTAGE .....	23
3. FILIÈRES TECHNOLOGIQUES DE COMPOSTAGE .....	26
4. PRINCIPES DE COMPOSTAGE .....	26
4.2. Facteurs et paramètres de compostage .....	28
4.2.1. Tri des ordures ménagères .....	28
4.2.2. Taille des particules organiques .....	29
4.2.3. Rapport C/N .....	30
4.2.4. Teneur en eau ou humidité .....	32
4.2.5. Température .....	33
4.2.6. Aération .....	36
4.2.7. pH .....	38
4.3. Éléments pratiques de contrôle des facteurs abiotiques .....	38
4.4. Impact des conditions du milieu .....	38
4.5. Vitesse du déroulement du processus du compostage .....	40
4.6. Ajustement des principaux paramètres de démarrage .....	40
4.7. Maturation du compost .....	43
4.8. Bilan de masse .....	44
<b>© Actes Éditions, Rabat, 2001</b>	

4.9. Paramètres de qualité du compost .....	44
4.9.1. Paramètres physiques et chimiques .....	44
4.9.2. Degré de maturité du compost .....	47
4.9.2.1. Méthodes d'évaluation de la maturité du compost .....	48
4.9.2.2. Relation entre le degré de maturité et la qualité du compost .....	50

## **APPROCHE TECHNIQUE POUR LA MISE EN PLACE D'UNE UTC ..... 51**

1. INTRODUCTION .....	51
2. DIMENSIONNEMENT ET FONCTIONNALITÉ D'UNE UTC .....	51
2.1. Aire de tri .....	51
2.2. Andains et aire de fermentation .....	52
2.3. Aire de fermentation .....	52
2.4. Aire de maturation .....	53
2.5. Atelier de criblage .....	54
2.6. Aire de stockage .....	55
2.7. Aménagements pour la récupération et le traitement des lixiviats .....	55
2.8. Autres équipements .....	55
2.9. Schéma récapitulatif .....	56
2.10. Petit matériel .....	57
3. SUPERFICIE POUR UNE UNITÉ DE COMPOSTAGE .....	57
4. TEMPS NECESSAIRE POUR LES OPERATIONS DE TRI ET DE RETOURNEMENT .....	58

## **COMMERCIALISATION ET VALORISATION DU COMPOST ..... 59**

1. INTRODUCTION .....	59
2. VALEUR AGRONOMIQUE DU COMPOST .....	61
3. PRATIQUES D'UTILISATION DU COMPOST .....	61
4. AJUSTEMENT DES DOSES EN FONCTION DE LA TENEUR EN METAUX LOURDS .....	62
5. COMMERCIALISATION DU COMPOST .....	65
6. PRIX DU COMPOST .....	67
7. CONDITIONNEMENT DU COMPOST .....	68
8. ESSAIS AGRONOMIQUES .....	68

## **MODALITÉS ET PROCÉDURES DE MISE EN PLACE D'UN PROJET DE COMPOSTAGE ..... 71**

1. INTRODUCTION .....	71
2. DÉMARCHE ADOPTÉE PAR ENDA-MAGHREB POUR LA MISE EN PLACE DES UTC .....	71
3. PROPOSITION D'AMÉLIORATION DE LA DÉMARCHE .....	72
3.1. Implication de la population dans le processus de planification du projet ..	72
3.2. Adoption de la méthode de planification des projets par objectifs (PPO) ....	74
3.2.1. Analyse des concernés .....	74
3.2.2. Analyse et hiérarchisation des problèmes .....	75
3.2.3. Analyse et hiérarchisation des objectifs .....	75
3.2.4. Analyse des alternatives .....	75
3.2.5. Formulation des résultats .....	76

3.2.6. Formulation des activités pour chaque résultat .....	77
3.2.7. Élaboration du schéma de planification du projet (SPP) .....	78
4. CONSIDÉRATIONS COMPLÉMENTAIRES .....	81

## **DIRECTIVES SANITAIRES, ENVIRONNEMENTALES ET ÉDUCATIONNELLES ..... 83**

1. INTRODUCTION .....	83
2. DIRECTIVES ENVIRONNEMENTALES .....	84
2.1. Choix du site .....	84
2.2. Aménagements préservateurs de l'environnement .....	85
3. DIRECTIVES SANITAIRES .....	87
4. DIRECTIVES ÉDUCATIONNELLES ET DE VULGARISATION .....	87
4.1. À l'amont .....	87
4.2. À l'aval .....	88
5. DIRECTIVES DE SUIVI ET DE SURVEILLANCE .....	89
5.1. Phase de rodage .....	89
5.2. Essais agronomiques .....	89
5.3. Évaluation de l'impact sur la qualité des sols et des produits agricoles .....	89

## **RÉFÉRENCES ..... 91-94**

## **INDEX ALPHABÉTIQUE ..... 95-98**

### **LISTE DES ILLUSTRATIONS**

#### **• ENCADRÉS**

Quelques insuffisances de la gestion actuelle des déchets ménagers .....	12
Projets UTC pilotes entrepris par ENDA Maghreb au Maroc .....	16
Interrelations de la trilogie humidité - température - aération .....	39
Exemple de coût pour le niveau technologique simple dans le cas d'Oulmès : unité de Tri-Compostage .....	21
Exemple de coût pour le niveau technologique simple dans le cas de Tiflet : couplage entre compostage-récupération-décharge contrôlée .....	22
Systèmes de compostage .....	27
Conseils pratiques d'après des expérimentations locales conduites à petite échelle à l'UTOM de Salé .....	39
Exemple numérique de réajustement de la teneur en eau et du rapport C/N ...	42
Bilan de masse du compostage dans les petites et moyennes communes .....	44
Superficiés minimales requises pour le compostage .....	57
Ordres de grandeurs du temps consommé par les opérations manuelles .....	58
Valeur agronomique du compost de déchets ménagers .....	62
Conseils pratiques d'utilisation du compost .....	63
Fourchette de doses d'application du compost pour différents types d'usage .....	63
Exemple de calcul du nombre d'années d'application du compost en fonction de sa teneur en métaux lourds .....	64
Traitements adoptés dans les essais agronomiques d'évaluation de la valeur du compost et de ses impacts .....	69
Exemple de traitements qu'on peut adopter dans des essais de démonstration chez les agriculteurs .....	70

## • FIGURES

Schéma synoptique du système de gestion intégrée des déchets ménagers dans les sites de projets de Salé, Tiflet et Oulmès au Maroc .....	20
Hierarchisation de GID .....	24
Schéma du principe de compostage .....	27
Particules du compost .....	32
Allure théorique de l'évolution de la température au cours du compostage .....	35
Batterie de tuyaux d'aération plantés dans le tas en compostage .....	36
Exemple d'évolution des paramètres: température et oxygène lacunaire dans un tas en compostage .....	37
Forme géométrique et dimensions d'un andain .....	52
Schéma et dimensions d'un cribleur .....	54
Schéma montrant les principales composantes d'une unité de tri-compostage .....	56
Exemple fictif de la hiérarchie des problèmes .....	76
Exemple fictif de la hiérarchie des objectifs .....	77

## • PHOTOS

Aire de fermentation et andains dans l'UTC de Bab Lamrissa à Salé .....	53
Broyage et criblage du compost après maturation .....	54
Sensibilisation des jeunes scolarisés et du milieu enseignant à l'UTC de Bab Lamrissa, Salé .....	88

## • TABLEAUX

Données générales sur les projets UTC .....	17
Composition des déchets ménagers bruts dans quelques pays .....	25
Variabilité de quelques paramètres caractéristiques des déchets ménagers .....	25
Teneurs approximatives en azote et rapport C/N de quelques matières organiques compostables .....	31
Temps requis pour la destruction des germes pathogènes représentatifs à une température de 60°C .....	35
Effets des facteurs climatiques et modalités d'intervention .....	41
Normes de qualité de compost final .....	45
Normes de qualité du compost final destiné au marché .....	46
Principales actions du compost sur les paramètres de la qualité des sols .....	60
Valeurs cumulatives limites pour les principaux métaux lourds applicables aux sols cultivés en fonction de la CEC et pour des valeurs de pH du sol maintenues supérieures à 6,5 .....	64
Démarche du cycle de projet technique .....	73
Analyse des concernés (exemple fictif) .....	75
Exemple d'un schéma de planification du projet .....	79
Exemple de matrice du Plan d'Opérations .....	80
Inconvénients des filières d'incinération et d'enfouissement .....	83
Composition chimique des lixiviats des eaux de lessivage des ordures ménagères en fermentation à l'Unité de Traitement des Ordures Ménagères de Rabat/Maroc et de la décharge de Tanger .....	86
Normes de rejets imposées aux lixiviats des déchets .....	86

## *Parus chez Actes Éditions*

**Actes de l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II** (Actes Inst. Agron. Vet. (Maroc)) Périodique Scientifique et Technique Multidisciplinaire Trimestriel paraissant en Anglais ou Français

### **Collection "Proceedings"**

- Rehabilitation of faba bean édité par W. BERTENBREITER & M. SADIKI (1996), 200 p.
- Diversité biologique et valorisation des plantes médicinales édité par M. REJDALI & A. BIROUK (1996), 254 p.
- Biodiversity & adaptation édité par A. ZAÏME (1996), 256 p.
- Ressources phytogénétiques et développement durable édité par A. Birouk & M. Rejdali (1997), 370 p.
- Plantes aromatiques et médicinales et leurs huiles essentielles édité par B. BENJILALI, M. ETTALIBI, M. ISMAÏLI-ALAOUI & S. ZRIRA (1997), 548 p.
- Tuberculose animale en Afrique et au Moyen Orient édité par J. BERRADA, N. BOUHRITI & M. BOUSLIKHANE (1997), 228 p.
- Élevage et Produits de l'Abeille édité par N. BELKADI, S. TAZI, E.-M. MOHSSINE & S. BENAMAR (1997), 172 p.
- Drainage de la Plaine du Gharb édité par E.-M. ATIF, A. TAKY, A. HAMMANI & S. BOUARFA (1999), 146 p.
- World information and early warning system on plant genetic resources A. BIROUK & M. TAZI (Eds), FAO/Actes Editions (1991), 98 p.
- Maladies parasitaires et infectieuses du dromadaire édité par A. DAKKAK (2000), 164 p.

### **Collection Économie et Développement "ED"**

- Impact des accords du GATT sur les exportations agricoles du Maroc édité par Khalid BENDAOU (1997), 176 p.

### **Collection Lexiques et guides**

- Lexique Français- Anglais- Arabe des Termes de Productions Animales par I. BOUJENANE & M. T. SRAÏRI (1998)
- Guide du jeune chercheur scientifique par A. HMIDOUCHE (1998), 48 p.

**Collection Agriculture et Développement "AD"**

Pertes à la récolte des céréales dans un pays méditerranéen par  
A. CHAFAÏ-ELALAOUI, A. BENTASSIL & M. EL MEKKAOUI (1996),  
198 p.

**Collection Documents Scientifiques et Techniques "DST"**

Les ressources génétiques ovines au Maroc par I. BOUJENANE (1999),  
136 p. (*Prix du Maroc pour les Sciences et les Technologies, 1999*)

**Collection Manuels Scientifiques et Techniques "MST"**

Éléments d'amélioration génétique des plantes par A. ZAHOUR (1992),  
232 p. (*Grand Prix du Maroc 1993 pour les Sciences et la  
Technologie*)

Modélisation mathématique des processus pédologiques par  
H. LAUDELOUT, C. CHEVERRY & R. CALVET (1994) 264 p.

Reproduction équine. Tome 1 La jument par A. TIBARY & M. BAKKOURY  
(1995), 434 p. en couleurs

Assurance qualité en industrie halieutique par L.H. ABABOUCH (1995)  
212 p.

Theriogenology in Camelidae Anatomy, Physiology, Pathology and Artificial  
Breeding par A. TIBARY & A. ANOUASSI EAU/Actes Editions (1997),  
489 p.

**Collection Biochimie pour tous (en 21 x 27)**

Glucides par M. ETTALIBI (1998), 172 p.

Expression et exploitation des gènes par M. ETTALIBI (1998), 120 p.

Lipides par M. ETTALIBI (2000), 288 p.

Pour plus d'informations, contacter **Pr. M. ETTALIBI**,

Éditeur en Chef, **Actes Éditions**,

Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II,

B.P. 6202 -Instituts, 10 101 RABAT (Maroc),

Tél. 037 77 43 51

Fax : 037 77 81 35

Courriel : [m.ettalibi@iav.ac.ma](mailto:m.ettalibi@iav.ac.ma)

Conception et Édition : **Actes Éditions**, Rabat  
Flashage et Impression : **ImprimElite**, Salé

Achévé d'imprimer : 2<sup>ème</sup> trimestre 2001