

**Projet de Fin d'Etudes présenté pour l'obtention du
diplôme d'Ingénieur en Agronomie
Option : Agro-environnement**

**Diagnostic et évaluation des unités
de compostage des déchets agricoles
et horticoles dans la région du Souss Massa Drâa**

**Présenté et soutenu publiquement par :
KOMENAN Adjoua Emilie Sandrine**

JURY

Pr. TALEB Abdelkader	Président	DERNE / IAV Hassan II
Pr. SOUDI Brahim	Rapporteur	DERNE / IAV Hassan II
M. AZIM Khalid	Rapporteur	INRA Agadir
Pr. BAGDAD Bouamar	Examineur	DERNE / IAV Hassan II
Pr. EL HAFIANE Fatiha	Examineur	DERNE / IAV Hassan II

Juillet 2011

DEDICACES

A mes parents, mes frères et mes sœurs qui ont toujours su m'orienter et me soutenir dans mes choix, qui m'ont toujours donné avec amour et joie, sans rien attendre en retour,

A toute ma grande famille avec laquelle j'ai toujours vécu de grands moments inoubliables et que je continuerai de vivre encore,

A tous mes amis et connaissances qui m'ont aidée et accompagnée aussi bien dans les moments de joie que les moments de tristesse,

A toutes les personnes qui m'ont assistée aussi bien de près que de loin durant mon cursus scolaire et surtout pour l'élaboration de ce travail,

Mon désir le plus grand est que ce travail soit le témoignage de ma très profonde gratitude et de cette reconnaissance que je ressens envers vous

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont au Pr SOUDI Brahim et à Mr AZIM Khalid pour cet honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'être mes encadrants, pour l'intérêt qu'ils m'ont manifesté tout au long de ce mémoire et pour les efforts qu'ils ont mobilisés pour le bon déroulement de ce travail.

J'adresse toute ma gratitude aux Pr TALEB, Pr. BAGHDAD et Pr. EL HAFIANE Pour avoir examiné et jugé ce travail.

Je dois aussi un profond remerciement à tout le corps enseignant du département de ressources naturelles et environnement et de l'Institut Agronomique et Vétérinaire HASSAN II

A tous les techniciens des laboratoires des départements ressources naturelles et environnement et de productions animales, de l'Institut Nationale de la Recherche Agronomique et du Complexe Horticole d'Agadir, je dis un grand merci pour leur aide et leur sollicitude

Enfin, mes remerciements vont aussi tout particulièrement à tous les responsables de compostière qui ont bien voulu m'accorder un peu de leur temps si précieux pour la réalisation de ce travail

Résumé

La région du Souss Massa Drâa est une région d'agriculture intense, notamment dans l'activité horticole. Celle-ci génère des gisements importants de déchets organiques et inorganiques. Les déchets organiques sont soumis à une gestion anarchique avec la création des décharges sauvages dans la région ce qui dégrade l'esthétique du paysage mais aussi une probable pollution des eaux, de l'air et des nuisances olfactives. Il s'agit là aussi d'une perte considérable de matière organique pour les sols.

La valorisation de ces déchets pourrait se faire à travers le compostage et l'épandage du compost produit sur les sols pauvres en matière organique en tant que complément des engrais minéraux achetés. Ils peuvent donc constituer un bénéfice économique et environnemental considérable.

Le compostage, recommandation à l'échelle de la région, permettra un apport au sol de matière fertilisante saine, exempt de tous germes phytopathogènes et semences de mauvaises herbes.

Notre étude a consisté en une évaluation des unités de compostage installées dans la région. Les enquêtes réalisées auprès de quelques compostières permettent de voir que les teneurs en macroéléments de ces composts constituent pour les sols des sources de fertilisation importantes.

Les résultats des enquêtes réalisées sur le terrain nous ont montré que en général, à l'échelle de la région, le processus et la technologie du compostage ne sont pas maîtrisés mais aussi que la configuration des compostières et leur emplacement font d'eux des sources potentielles de pollution pour l'air, l'eau et le sol. Les composts produits présentent des risques phytotoxiques et agronomiques pour les cultures installées à cause du défaut de maturité.

En effet, les pH des composts produits ont des valeurs allant de 7,75 à 8,96. Les C/N quant à eux sont compris entre 8,6 et 24. Ces valeurs démontrant le degré de maturité du compost ne sont pas conformes aux recommandations. Le test de chromatographie réalisé pour la détermination de la maturité nous a montré que aucun des composts prélevés n'a atteint la maturité.

Mots clés : Compost, Compostières, Souss Massa, Déchets horticoles, Valorisation, Environnement

Abstract

The area of Souss Massa Drâa is an intense area of agriculture, particularly in the horticultural activity, which produces important layer of organic and inorganic wastes. Organic waste is subjected to an anarchistic management with the creation of the wild discharges in the area which degrades the esthetics of the landscape and also constitutes a probable water pollution source, air and smell pollutions. It is also cause a considerable organic matter loss for the grounds.

The valorization of those wastes could be done through the composting and the reconstitution of the compost produced on the grounds low in organic matter as a complement of bought mineral manures and also in the production of biogas. They can thus constitute a considerable economic and environmental benefit.

Composting, recommendation on the scale of the area, makes it possible to revalorize this waste by supporting their return on the ground in the form of healthy matter, free from all germs phytopathogenics and seeds of bad grasses.

This study consists of a diagnosis and an evaluation of the units of composting installed in the area but also an appreciation of the quality of the compost produced. The investigations carried out near some compost heap show that the contents of macro elements of these composts constitute for the grounds an important source of fertilization.

The results of field surveys have shown that in general, across the region, process and technology of composting are not controlled but also that the configuration of compost and location make them sources potential pollution to air water and soil. Compost products are at risk for phytotoxic and agronomic crops grown because of the lack of maturity.

Indeed, the pH of products has values ranging from 7.75 to 8.96. The C/N are between 8.6 and 24. These values demonstrate the maturity of the compost does not meet the recommandations. The chromatographic test showed that none of composts sampled has reached maturity

Key words: Compost, Compost heap, Souss Massa, Horticultural Waste, Valorization, Environment

Table des matières

Résumé	iii
Abstract	iv
Liste des tableaux.....	viii
Liste des figures	x
Liste des abréviations.....	xi
Introduction	1
REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	3
I. Caractérisation des déchets agricoles.....	4
1 Définition et cadre réglementaire	4
1.1 Les amendements organiques	5
1.2 Les supports de culture.....	5
1.3 Engrais.....	5
1.4 Amendements calcique ou magnésien	5
2 Nature et origine	6
3. Importance de production des déchets agricoles organiques	6
4 Impacts environnementaux	8
4.1 Les problèmes sanitaires	8
5. Méthodes de gestion des déchets agricoles	10
5.1. La valorisation à travers l'alimentation animale.....	11
5.2. Épandage direct sur le sol.....	12
5.3. Mise en décharge	12
5.4. Incinération.....	12
5.5. La méthanisation	13
5.6. Le compostage.....	14
II. Compostage.....	14
1. Définition	14
2. Principe	14
3. Les paramètres de compostage.....	15
3.1. Le rapport C/N.....	15
3.2. L'humidité	15
3.3. La taille des particules.....	15
3.4. L'aération	16
3.6. La température	16
3.7. pH.....	16
4. Le processus de compostage	16
4.1. La phase de fermentation active	17
4.2. La phase de maturation	18

5. Les différentes méthodes de compostage.....	18
5.1. Compostage en andain	19
5.2. Compostage en récipient clos	21
6. Les méthodes d'évaluation de la maturité du compost.....	21
6.1. Les méthodes empiriques	22
6.2. Méthodes physico-chimiques	22
6.3. Méthodes biologiques	22
7. Méthodes de calcul d'optimisation des mélanges	23
8. La plate-forme de compostage	24
9. Normes de qualité et certification du compost.....	25
10. Coût du compostage des déchets agricoles et horticoles	29
11. Valorisation du compost	31
11.1. Valorisation agronomique du compost	31
11.2. Valeur énergétique du compost	33
11.3 Valorisation environnementale du compost	34
12. Contraintes d'utilisation du compost	34
12.1. Problèmes liées à l'utilisation du compost immature	34
12.2. Problème lié à la teneur en métaux lourds.....	35
MATERIELS ET METHODES	36
I. Rappel des objectifs du travail	37
II. Zone d'étude	37
1. Localisation	37
2. Le climat.....	38
3. Économie.....	38
4. La production agricole	38
5. Ressources en Eau	39
6. Environnement et pollution.....	40
III. Collecte des données de base	41
1. Enquêtes et observation pour l'évaluation des unités de compostage.....	41
2. Prélèvement des échantillons	41
3. Analyse des échantillons	41
3.1. L'humidité	41
3.3. La conductivité électrique	42
3.4. L'azote total.....	42
3.5. Le Phosphore	42
3.6. Le potassium.....	42
3.7. La matière organique.....	43

3.8. La chromatographie circulaire.....	43
RESULTATS.....	44
ET DISCUSSIONS.....	44
I. Valeurs énergétiques et fertilisantes des déchets horticoles et agricoles du Souss Massa Draa.....	45
II. Les compostières et le compostage.....	47
1. Description.....	47
1.1. Environnement des compostières.....	47
1.2. Configuration de la plate forme.....	48
2. Mode de gestion du processus de compostage.....	49
2.1. Les ratios de mélange.....	50
2.2. La phase de fermentation.....	50
2.3. La phase de maturation.....	50
2.4. L'équipement.....	50
3. Cout de fonctionnement et rentabilité de l'activité de compostage.....	52
4. Résultats des analyses et qualité du compost produit.....	53
4.1. Matières premières.....	53
4.1.1. Matière sèche et C/N.....	53
4.2. Compost.....	54
4.2.1. Humidité, pH et conductivité.....	54
4.2.1. Rapport C/N et éléments fertilisants.....	55
4.2.2. Test de chromatographie à l'AgNO ₃	55
5. Impact des compostières sur l'environnement.....	56
5.1. L'air.....	56
5.2. L'eau.....	57
6. récapitulatif du diagnostic.....	60
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	61
Bibliographie.....	64
Annexes.....	69

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Quantités totales de déchets produites dans la région sud (essentiellement dans le Souss Massa) et la région nord au Maroc	7
Tableau 2 : production de N (kg/ animal/an) et de NH ₃ par différentes espèces selon différentes sources	10
Tableau 3: composition des balles de riz en % du poids brut	11
Tableau 4 : Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) de déchets végétaux	13
Tableau 5 rendement de déchets agricoles en biogaz	13
Tableau 6 : avantages et inconvénients de la méthode de méthanisation.....	14
Tableau 7 : Rapport C/N de Matériaux brut	15
Tableau 8: Amendements organiques — Dénominations et spécifications	25
Tableau 9 : Concentrations maximales en ETM et CTO définies dans les normes NFU 44-051 et NFU 44-095, qualifiant respectivement les amendements organiques et les composts de boues d'épuration	26
Tableau 10 Valeurs limites en agents pathogènes sur le produit brut des amendements organiques.....	26
Tableau 11 : Valeurs limites en inertes et impuretés	26
Tableau 12 : valeur limites des éléments traces métalliques de l'Ecolabel	27
Tableau 13 exigences sur les germes pathogènes par l'Ecolabel	27
Tableau 14: valeurs limites des éléments minéraux dans le compost en agriculture biologique	28
Tableau 15 : qualité d'un compost	28
Tableau 16: Coût d'investissement pour le compostage de déchets vert	29
Tableau 17: coût de fonctionnement pour le compostage de déchets verts	30
Tableau 18: prix de vente du compost	30

Tableau 19 : cout de fonctionnement pour une unité de compostage de 30 000t/an de déchets verts	31
Tableau 20: composition de compost de fumier de cheval et de bovin	31
Tableau 21 : principales actions du compost sur les paramètres de qualité du sol	32
Tableau 22 : présentation de la différence de teneur en carbone et l'azote dans un sol suite à l'apport de coques d'arachide et de compost des coques d'arachides	33
Tableau 23 : les principaux bassins de la région du Souss Massa Drâa et leurs apports annuels	39
Tableau 24 : mode d'utilisation des ressources en eau de la région du Souss Massa Draa.....	40
Tableau 25 : Répartition des déchets d'origine animale par commune dans le Souss massa ..	40
Tableau 26 : quantité de déchets de culture produits/ an.....	45
Tableau 27 : potentiel de biogaz par types de déchets dans la région du Souss Massa Drâa ..	45
Tableau 28 : composition de différents types de déchets	46
Tableau 29 : production totale annuelle en macroéléments des déchets agricoles et horticoles du Souss Massa	46
Tableau 30 : coût des engrais et couts totaux des éléments nutritifs contenus dans les déchets de la région du Souss Massa	46
Tableau 31 : description de l'environnement des unités de compostage	47
Tableau 32 : mode de gestion du processus de compostage.....	51
Tableau 33 : Mode de valorisation du compost produit par compostière	53
Tableau 34 : Humidité et C/N des matières premières.....	54
Tableau 35 : pH, Humidité et conductivité des échantillons de composts	54
Tableau 36 : C/N, N, P et K des échantillons de composts en %.....	55
Tableau 37 : résultats du test de chromatographie sur les échantillons de composts.....	55
Tableau 38 : tableau récapitulatif des critères de diagnostic des unités de compostage du Souss Massa	60

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Ratio de production de sous produits végétaux en fonction des cultures de fruits et légumes	6
Figure 2: Répartition des sous produits végétaux en fonction des cultures dans la région du Souss massa.....	7
Figure 3: principe du compostage	14
Figure 4 : Les phases de compostage	17
Figure 5 : Variation de la température au cours du processus de compostage	18
Figure 6 : Image d'un tas statique à aération forcée	20
Figure 7 : carte des préfectures et provinces de la région du Souss Massa Drâa.....	37
Figure 8 : Plan de la compostière A.....	48
Figure 9 : plan de la compostière E.....	48
Figure 10 : proximité entre les tas de déchets inorganiques et le compost présumé mur dans le compostière A	49
Figure 11 : cout de fonctionnement des compostières	52
Figure 12 : tas de déchets de cultures exposés à l'air libre.....	56
Figure 13 : tas de déchets et en fermentation exposé a l'air libre	56
Figure 14 : imperméabilisation de la compostière C.....	57
Figure 15 : fosses de collecte des lixiviats dans la compostière A	58
Figure 16 : bassin de récupération de lixiviats dans la compostière D	58
Figure 17 : lixiviats stagnants sur le sol dans la compostière A	59

Liste des abréviations

CEC	:	Capacité d'Echange Cationique
CTO	:	compose traces organique
Dh	:	Dirham
DT	:	Dinar tunisien
ECETOC	:	European Centre for Ecotoxicology and Toxicology Of Chemicals
EMEP	:	European Monitoring and Evaluation Programme
ETM	:	Eléments Traces Métalliques
GWh	:	GigaWatt-heure
K	:	Potassium
Kcal	:	Kilocalorie
Kwh	:	Kilowattheure
M.S.	:	Matière Sèche
M.O.	:	Matière Organique
N	:	Azote
ORMVA/SM	:	Office Régionale de Mise en Valeur Agricole du Souss Massa
P	:	Phosphore
PCI	:	Pouvoir Calorifique Inférieur
pH	:	potentiel hydrogène
PIB	:	Produit Intérieur Brute
t/an	:	tonne/an

Introduction

L'essor et la croissance économique dans le monde entraîne une production de déchets de plus en plus importante. Elle est due à une intensification importante des systèmes de productions agricoles. Cela se voit clairement au Canada où la production de fumier est passée de 156 265 t/an en 1981 à plus de 180 000 t/an en 2006 (Hofmann, 2008), soit un accroissement de 16%. Au Maroc, dans le Souss Massa, les productions de sous produits végétaux sont estimées à 406 045 tonnes/an (ORMVA/Souss Massa Drâa, 2009).

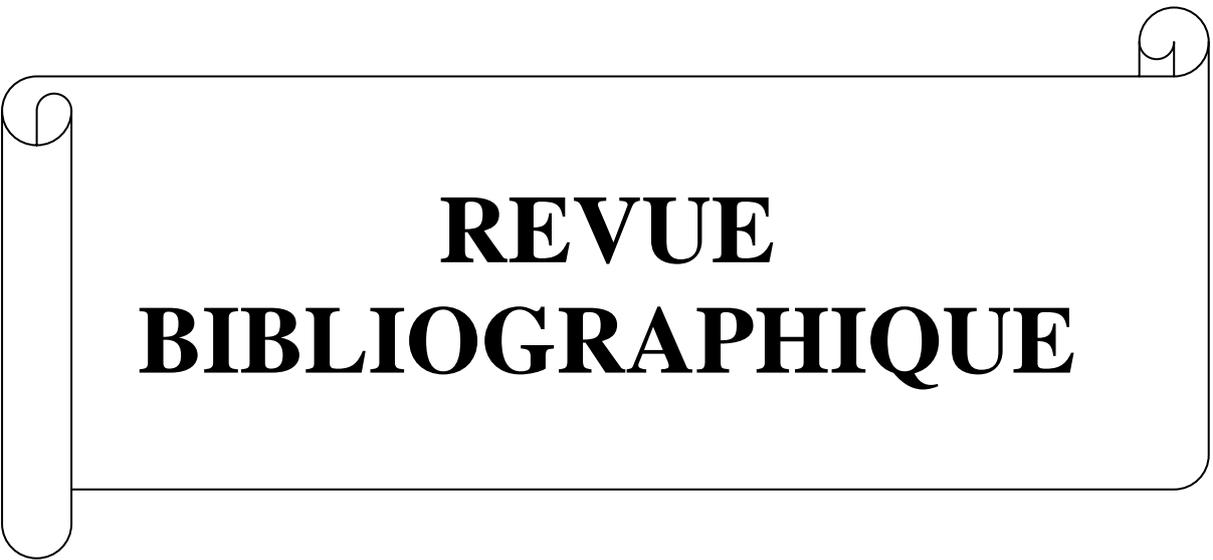
Ces déchets agricoles, cependant, s'ils ne sont pas bien gérés, peuvent entraîner de gros problèmes aussi bien sanitaires qu'environnementaux. Ils constituent des sources de pollutions des sols, de l'air et des eaux mais aussi des sources de nuisances olfactives et de dégradation du paysage.

La bonne gestion de ces déchets serait un bon moyen de résolution de la problématique d'appauvrissement des sols en matières organiques. Cette problématique se révèle d'autant plus grave qu'au Royaume uni, sur la période 1979-95, la teneur des sols en matières organiques a globalement diminué de 0,5% par an en moyenne (OCDE, 2001 (a)). De plus, face à l'ampleur du réchauffement climatique, survient une minéralisation importante de la matière organique du sol. Cette matière organique qui est, par ailleurs, exportée vers les cultures installées. L'apport de ces déchets organiques aux sols constituera donc un grand moyen pour lutter contre la dégradation de la surface du sol et permettra d'améliorer ses caractéristiques physico-chimiques. Ce qui induira de manière bénéfique une amélioration de la nutrition et la croissance des plantes et, surtout une augmentation du potentiel de survie de ces sols en période de sécheresse

Des moyens et méthodes ont été mis en place pour la gestion de ces déchets et leur valorisation, ce, à travers par exemple la production de biogaz et aussi le compostage. Cette dernière méthode de valorisation est la plus répandue dans notre région d'étude qui est le Souss Massa Drâa. Ce mode de valorisation peut entraîner d'autres problèmes environnementaux si certaines normes ne sont pas respectées.

Dans La région du Souss Massa sont cultivés le bananier, les céréales et les cultures maraichères, de manière très intensive, et qui sont aussi des cultures très productrices de déchets organiques. C'est aussi l'une des plus grandes régions agrumicoles au Maroc. Se pose donc dans cette région un problème crucial de gestion et valorisation des déchets organiques.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce thème de fin d'étude qui a pour objectifs la détermination du potentiel des déchets agricoles et horticoles compostables dans la région du Souss Massa et la qualité du compost produit dans cette région.



**REVUE
BIBLIOGRAPHIQUE**

I. Caractérisation des déchets agricoles

1 Définition et cadre réglementaire

La notion de déchet peut être définie comme toute substance indésirable issue d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation

la loi Marocaine 28-00 donne la définition plus explicite suivante : « tout résidu résultant d'un processus d'extraction, exploitation, production, transformation, consommation, utilisation, contrôle ou filtration et d'une manière générale, tout objet et matière abandonnées ou que le détenteur doit éliminer pour ne pas porter atteinte à la santé, la salubrité publique et à l'environnement ».

Cette loi 28-00 définit les déchets agricoles comme étant : « tous les déchets de nature organiques générés directement par des activités agricoles, agro-industrielles ou par l'élevage ».

La réglementation française sur la valorisation agronomique des déchets organiques, définit quant à elle les déchets organiques comme étant : « l'ensemble des résidus ou sous-produits organiques engendrés par l'agriculture, composés de matière organique non synthétique caractérisée par la présence d'atomes de carbone issus d'organismes vivants, végétaux ou animaux »

Les déchets organiques agricoles ne présentent en général pas de dangers pour les sols. Ce sont des matières fertilisantes qui sont définies comme tous produits dont l'emploi est destiné à assurer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques chimiques et biologiques des sols (Chauvin, 2004).

On distingue 4 types de matières fertilisantes qui sont les amendements organiques, les supports de cultures, les engrais et les amendements calciques et magnésiques. (Chambre de l'agriculture de Bourgogne; Confédération des association viticoles de Bourgogne, 2006)

1.1 Amendements organiques

Ce sont des matières fertilisantes composées principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale, fermentées ou fermentescibles, destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de matière organique du sol (Chauvin, 2004). Ces amendements visent à compenser la fraction d'humus qui se minéralise chaque année (Deblay, 2006). Les teneurs en N, P₂O₅ et K₂O doivent être inférieures à 3% pour chaque produit brut (Chauvin, 2004). Ces produits sont soumis à la norme NFU 44-051 de l'Union Européenne qui définit 16 types d'amendements organiques parmi lesquels nous pouvons citer entre autres le fumier, la matière végétale brute, et le compost végétal et à la norme NFU 44-071 qui concerne cette fois-ci les amendements organiques avec engrais ou les teneurs respectives en azote (N), phosphore (P₂O₅), et potassium (K₂O) sont inférieures à 3%.

1.2 Supports de culture

Les supports de culture sont des produits destinés à servir de milieu de culture à certains végétaux. Leur mise en œuvre aboutit à la formation de milieux possédant une porosité telle qu'ils sont capables à la fois d'ancrer les organes absorbants des plantes et de leur permettre d'être en contact avec les solutions nécessaires à la croissance (Chauvin, 2004). Ils doivent avoir des teneurs en N, P₂O₅ et K₂O inférieures à 2% et contenir des matières d'origine végétales fumigènes. On les différencie des amendements organiques par le fait qu'ils ont des teneurs plus élevées en matières inertes. Il existe la norme NF U 44-551 qui définit différents substrats de cultures parmi lesquels on peut citer le substrat végétal non fermenté non supplémenté et aussi le substrat végétal fermenté.

1.3 Engrais

Les engrais sont des matières fertilisantes dont la fonction principale est d'apporter aux plantes des éléments directement utiles à la nutrition (éléments fertilisants majeurs, éléments fertilisants secondaires, oligo-éléments) (Chauvin, 2004).

Les déchets organiques agricoles pouvant être considérés à un moment de leur cycle comme engrais doivent respecter la norme NF U 42 001.

1.4 Amendements calcique ou magnésien

Ils contiennent du calcium ou du magnésium, généralement sous forme d'oxydes, d'hydroxydes ou de carbonates, destinés principalement à maintenir ou à élever le pH du sol et à en améliorer les propriétés (Chauvin, 2004). Les normes qui régissent l'utilisation de ces produits sont les normes NF U 44-001 et NF U 44-203.

2 Nature et origine

Les déchets agricoles, d'élevage et horticoles sont généralement constitués de : déjections animales et résidus de culture qui ne sont pas utilisés. Ces résidus de culture peuvent encore être appelés sous produits végétaux. Ce sont aussi les invendus des fruits et légumes et les rejets issus des tris de ces fruits, légumes et les restes de fleurs. A tout cela, s'ajoutent les déchets verts des pépinières

Concernant les résidus de culture, l'on pourrait en distinguer deux sortes : les résidus secs et les résidus verts. Les résidus secs sont définis comme la partie des plantes non comestible pour l'homme, laissée sur place après la récolte (Ballerini, 2006). Généralement ils regroupent les pailles des céréales, les tiges de tournesol tandis que les résidus verts de cultures sont les feuilles, les fanes des légumineuses.

3. Importance de production des déchets agricoles organiques

La production de déchets est généralement exprimée en pourcentage du poids des différentes cultures, cela en vue d'une détermination plus adéquate des quantités (Figure 1)

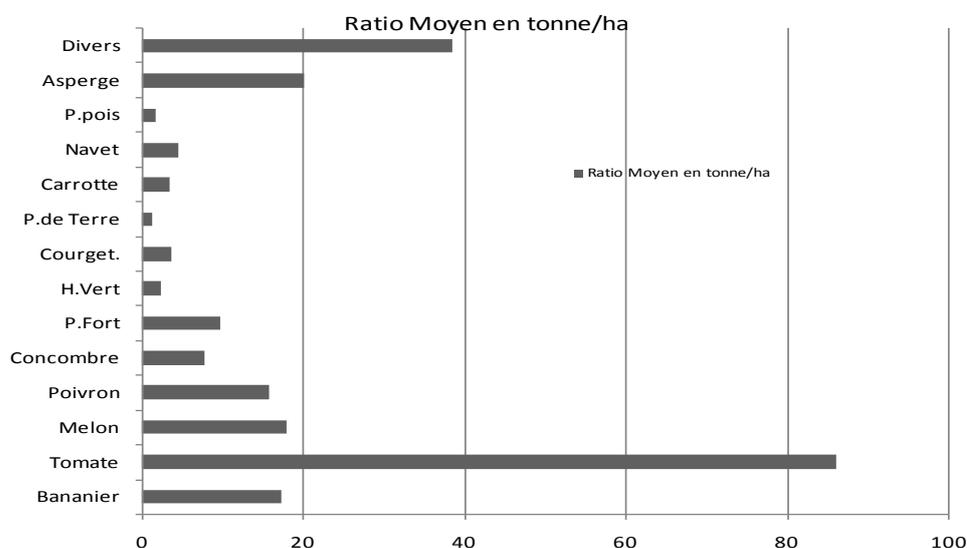


Figure 1: Ratio de production de sous produits végétaux en fonction des cultures de fruits et légumes (ORMVA/SM, 2009)

Ce sont les cultures maraîchères et en particulier celles pratiquées sous abri - serre suivies du bananier qui génèrent des quantités importantes de déchets.

La région du Souss Massa Drâa a une contribution très importante dans la production des déchets agricoles au Maroc avec 517 487 tonnes/an contre seulement 148 875 tonnes/an dans la zone nord (Tableau1).

Tableau 1 : Quantités totales de déchets produites dans la région sud (essentiellement dans le Souss Massa) et la région nord au Maroc (Souidi, 2005)

culture	Zone nord (t/an)	Zone sud(t /an)	Quantité totale(t/an)
Tomates	24000	231000	255 000
Concombre	3390	4 260	7 650
Courgettes	5520	35 220	48 390
Haricot vert	850	28 052	77 292
Piment fort	2000	6 400	8 400
Poivron	2250	32 850	35 100
Melon	44765	4 305	84 170
Banane	68100	175 400	243 500
Total	148875	517 487	666 362

Cette production dans la région est dominée à 83% par les déchets de tomates (figure 2), suivie du bananier avec 3,6%

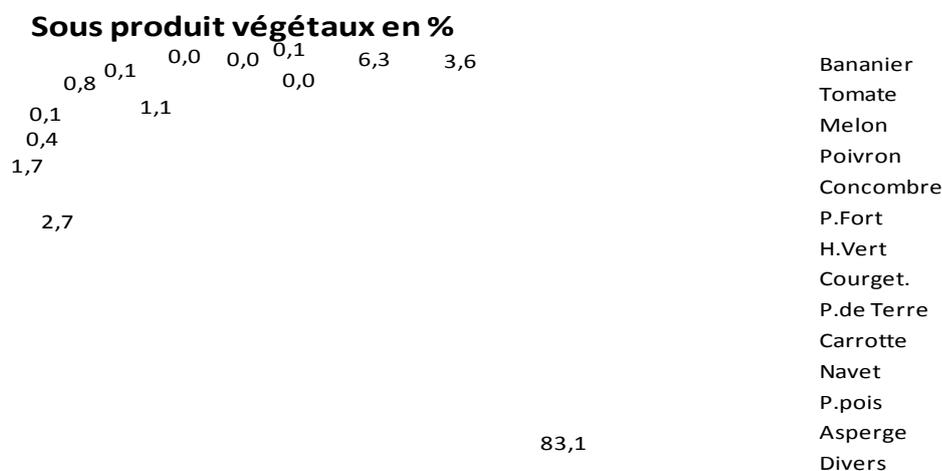


Figure 2: Répartition des sous produits végétaux en fonction des cultures dans la région du Souss massa (ORMVA/SM, 2009)

Les sous produits végétaux produits dans le Souss Massa proviennent donc en majorité des cultures sous serre.

Face à l'intensification de l'élevage, les productions de déjections animales sont très importantes et constituent généralement plus de la moitié de la production de déchets

agricoles. En France, la production annuelle de déchets agricoles est de l'ordre de 375 Millions de tonnes, sans compter les résidus de récolte laissés sur champ, dont 250 millions de tonnes de déjections animales (Muzzolini, 2005). Cette production de fumier d'animaux allait de 49,5 à 70 millions de tonnes au Maroc (Rafrafi, 2006)

4 Impacts environnementaux

La production de déchets agricoles entraîne des problèmes environnementaux plus ou moins importants en fonction des quantités produites et du mode de gestion de ces déchets. Ces problèmes sont succinctement développés dans les paragraphes suivants.

4.1 Les problèmes sanitaires

Ils sont dus généralement à l'accumulation des déchets près des lieux d'habitations, des exploitations et loges des animaux. Ces tas générés sont des lieux de développement et de dissémination des agents pathogènes, surtout lors de leur transport. Sans traitements adéquats, ils peuvent être des foyers de maladies pour l'homme, les animaux et les végétaux.

Dans les élevages avicoles, pendant les périodes froides, suite à une réduction de la ventilation pour réduire la consommation en énergie, les concentrations en ammoniac accumulées dans le milieu peuvent atteindre des niveaux très élevés. Cette exposition peut être néfaste pour la santé des animaux et ainsi réduire leur performance. Cette teneur élevée est aussi toxique pour l'homme.

Le fumier et les déchets végétaux sont aussi des milieux de vie pour des germes pathogènes. Les bactéries connues pour être des agents pathogènes humains comprennent certaines souches de *E.coli*, *Salmonella* spp, *Listeria*, *Streptococcus* spp, *Campylobacter*, *Clostridium* spp (Martin, 2005(b)). Il faut aussi ajouter que les déchets agricoles, surtout le fumier sont riches en quelques métaux lourds tel que le zinc, le cuivre. Ces métaux lourds peuvent donc à un moment se retrouver dans des eaux de consommation en cas de mauvaise gestion et donc être toxique pour l'homme. De même des maladies respiratoires peuvent être engendrées chez l'homme par la présence de gaz émis par ces déchets.

Le problème d'ordre phytosanitaire réside dans le fait que les déchets de culture peuvent contenir des graines de mauvaises herbes et aussi des œufs d'insectes nuisibles pour les cultures. Ces déchets sont aussi souvent vendus et particulièrement pendant les années sèches comme aliments de bétail. Cette pratique engendre des risques majeurs :

- Le risque d'intoxication du bétail par les résidus de pesticides qui peuvent être transférés dans les produits laitiers ;
- L'intrusion d'autres objets indésirables (ficelles par exemple) dans les déchets verts et le risque de leur passage dans le tube digestif des animaux ;
- La dissémination des pathogènes à travers l'épandage du fumier (Soudi, 2005(b)).

4.2 La pollution

4.2.1 Pollution de l'eau

La pollution des eaux due aux déchets agricoles est généralement due aux nitrates et phosphore qui sont emportés généralement après les pluies, à cause du ruissellement. Il en résulte une contamination de ces eaux superficielles ou souterraines et le phénomène d'eutrophisation.

En effet, le fumier et les restes des cultures légumineuses sont des déchets généralement très riches en azote. En France, un essai de quantification effectué par l'Institut Français de l'Environnement en 2004 évalue la quantité totale d'excès d'azote produits issu des déchets agricoles de l'élevage dans les exploitations agricoles à 205 512 tonnes / an.

Dans le cas de la contamination par les nitrates, les eaux souterraines sont les plus touchées. L'azote présent principalement dans les déchets, surtout le fumier, est lixivié dans les profondeurs du sol jusqu'à atteindre la nappe. Martinez en 2008 affirme que la transformation de l'azote ammoniacal en nitrates et les quantités de nitrates transportées sont influencées par plusieurs facteurs tels que la température et le type de sol. Ainsi, dans les pays de l'Europe du nord, les quantités d'azote transportées vers les eaux souterraines issues des déchets agricoles seraient estimées à nettement plus des 50 mg/l (Martinez, 2008) qui sont tolérés par les directives européennes.

Les eaux de surface ne sont pas en reste surtout face au phénomène d'eutrophisation dont les éléments limitant sont l'azote mais surtout le phosphore qui devient de plus en plus disponible dans les déchets.

4.2.2 pollution de l'air

Les tas formés par ces déchets et les conditions physico-chimiques sont favorables à une activité biologique importante qui entraîne une émanation d'odeurs nauséabondes plus ou moins importante dans les zones avoisinantes, et une émission de gaz dans l'atmosphère. En effet l'ammoniac le méthane, le dioxyde de carbone, et d'autres gaz encore sont libérés dans l'atmosphère. Et comme nous le montre le tableau 2, la quantité d'azote dégagé des excréments dépend de l'espèce.

Tableau 2 : Production de N (kg/ animal/an) et de NH₃ par différentes espèces selon différentes sources (Rheribla et Ouhammi, 2010)

espèces	ECETOC		EMEP		Misselbrook et al., 2000	
	N excrété	NH ₃ -N émis	N excrété	NH ₃ -N émis	N excrété	NH ₃ -N émis
Vaches laitière	122	27	100	24	104	21
Poule pondeuse	0,8	43	0,8	39	0,8	46
Poulet de chair	0,3	22	0,6	37	0,8	24
bélier	23	7	20	6	12	5

ECETOC: European Centre for Ecotoxicology and Toxicology Of Chemicals

EMEP: European Monitoring and Evaluation Programme

Ces gaz présents dans l'atmosphère entraînent des perturbations de l'écosystème naturel, notamment l'ammoniac (Marinez, 2008). De plus ils accroissent les problèmes de gaz à effet de serre, et de destruction de la couche d'ozone.

4.2.3 Pollution et appauvrissement du sol

La présence dans les déchets végétaux et le fumier de substances tel que les composés traces organiques provenant des résidus de pesticides et autres traitements phytosanitaires peuvent entraîner une pollution des sols. De plus lors du développement de la plante sans précaution et suivi, il y a un épuisement des stocks du sol en éléments minéraux issu de la minéralisation de la matière organique du sol. Cette matière se retrouve donc en grande quantité dans les déchets organiques et résidus agricoles. Le retour au sol de ces déchets pourrait donc contribuer à rétablir l'équilibre.

5. Méthodes de gestion des déchets agricoles

Les méthodes de gestion des déchets sont les différents moyens d'élimination, de traitement et de valorisation des déchets agricoles produits.

Il existe plusieurs options. Ce sont :

- La mise en décharge
- Le séchage et le brûlage (incinération)
- Le compostage et la valorisation agricole
- La biométhanisation
- la valorisation à travers l'alimentation animale.

En France, ces déchets sont principalement éliminés par incinération ou alors valorisés à travers l'épandage sur les sols, le recyclage et l'alimentation animale (OCDE, 2001(b)).

5.1. La valorisation à travers l'alimentation animale

Les déchets agricoles organiques peuvent servir pour l'alimentation du bétail. En effet Les sous-produits agricoles comme les résidus de cultures et les fientes ont une valeur considérable pour l'alimentation animale. Ces déchets ont des caractéristiques nutritionnelles assez intéressantes, comme c'est le cas des coques de riz qui contient 90% de matière sèche, 2,6% de protéines brutes et 20,6% de matière minérale (Tableau 3). Les fientes de volailles, Par exemple, peuvent être fermentées grâce à des microorganismes tel que *Lactobacillus plantarum* et *Pediococcus acidilactici*, afin de faire baisser le pH à 4, et de faire disparaître l'azote volatil total (ammoniac) et conserver un taux de protéines de 22,9 % dans le produit final contre 24,6 % dans le produit initial (TTZ Bremerhaven, 2011) puis éliminer les populations microbiennes. Le produit obtenu est incorporé dans les rations alimentaires et représente un bon apport protéiné qui peut être facilement ensilé et constituer donc un bon complément azoté pour l'alimentation du bétail.

Tableau 3: Composition des balles de riz en % du poids brut (INGESAHEL, 1998)

caractéristiques	Teneur en % du poids brut
Matière sèche	90,3
Matière brute protéique	2,6
Cellulose	38,2
Matière grasse	0,4
Matière minérale	20,3
Calcium	19,1
Silice	0,09
Phosphore	0,05
Magnésium	0,05
Potassium	0,44
Nutriments digestibles totaux	10,1

5.2. Épandage direct sur le sol

Environ 300 millions/an de tonnes de déjection animale brute, soit 40 millions t/an de matières sèches étaient épandues en France. (Tercé, 2003). Cette valorisation permet d'améliorer l'activité microbologique du sol et aussi les caractéristiques physico-chimiques du sol. La plante bénéficie donc de bonnes conditions de croissance.

Cependant, en l'absence de traitement de ces déchets, leurs épandage direct sur le sol peut être néfaste à cause de la présence probable de germes phytopathogènes. L'épandage excessif de certains résidus de plantes surtout les légumineuses qui sont riches en azote peut entraîner une pollution des nappes en nitrates mais aussi des eaux superficielles et entraîner l'eutrophisation. Un autre problème pourrait être une pollution atmosphérique. Il peut avoir un dégagement d'ammoniac et de protoxyde d'azote qui est un gaz à effet de serre.

5.3. Mise en décharge

Elle consiste en une accumulation des déchets dans un terrain généralement vague. Elle peut être de deux types : ce sont les décharges contrôlées et les décharges sauvages. Elle concerne de très importants tonnages (Boti, 2001). Les recommandations actuelles concernant la gestion intégrée et durable des déchets (GIDD) et les processus de réglementation proscrivent la mise en décharge (Soudi, 2005(b)). En effet la réglementation exige la mise en décharge uniquement des déchets ultimes. Cela impose donc le recyclage, la réutilisation des déchets organiques agricoles qui ne sont pas considérés comme ultimes

5.4. Incinération

L'incinération est la transformation par oxydation des constituants organiques en composés stables (CO_2 , H_2O , NO_2 , SO , etc.) et l'évaporation de l'eau contenue dans les déchets. (Jouali, 2005). A travers cette méthode, les déchets de cultures pourraient servir de combustibles domestiques pour les ménages. Elle se fait à travers généralement deux techniques qui sont : la technique de briquetage simple et de la technique bio-carbonisation en vue de l'obtention du charbon de biomasse. L'incinération domestique peut avoir des impacts négatifs sur l'environnement par la production de fumée car en effet, les résidus de bois ou de plantes cultivées brûlent mal, produisent beaucoup de fumée et entraînent le dégagement de gaz à effet de serre. Cette assertion peut être illustrée par le fait que au Penjab, en Inde, quatre tonnes de riz ou de blé produisent environ 6 tonnes de paille et chaque tonne de paille brûlée dégage 3 kg de particules de matière, 60 kg de CO , 1.460 kg de CO_2 , 199 kg de cendres et 2 kg de SO_2 et

entre 27 et 73 % d'azote sont perdus pendant l'incinération (Centre for Education and Documentation, 2010). Malgré cela, l'incinération pourrait permettre dans une certaine mesure de produire de l'énergie verte grâce au pouvoir calorifique des déchets de culture (Tableau 4). Mais il est important d'ajouter que l'intérêt combustible des déchets n'existe vraiment que pour les matériaux lignocellulosique (Rivière, 1996).

Tableau 4 : Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI) de déchets végétaux (INGE SAHEL, 1998)

Résidus de culture	Teneur en eau (%)	teneur en cendre(%)	PCI effectif MJ/kg
Paille de riz	8,2	18,5	13,2
Tiges de mil	6,4	4,7	16,1
Tige et feuille de sorgho	8,2	18,5	13,2
Tiges de maïs	17,8	14,6	12,2
Tiges de coton	5,4	4,7	16,3
Hautes herbes	6,2	5,5	16,0
Coques d'arachide	7,3	3,9	15,1
Sciures de bois	5 à 8	1,4	16,1 à 17,6

5.5. La méthanisation

La méthanisation est un procédé de dégradation de la matière organique par les microorganismes en milieu anaérobie. Deux produits en émanent : un gaz riche en méthane selon la nature de la matière (Tableau 5) et un résidu organique valorisable. L'Allemagne est considéré le premier pays producteur de biogaz et le parc d'installation à la ferme va aller en s'accroissant : 20000 nouvelles installations sont prévues d'ici 2015, et certains exploitants associent même lisier et cultures énergétiques (Pellecuer, 2007).

Tableau 5 : Rendement de déchets agricoles en biogaz (Tou et al., 2001)

Déchets	Rendement moyen en Litre de CH ₄ /kg de M.S
Bouse de vaches	200
Crottin de chevaux	200
Fientes de volailles	310
Fumier de mouton	135

Ce mode de valorisation des déchets organiques de l'agriculture se présente comme très bénéfique. En effet, L'on sait actuellement que 1 m³ de biogaz équivaut à 1,25 kilowattheure et sa combustion produit une quantité d'énergie équivalente à celle de 0,7 litre de pétrole ou 0,6 litre de gasoil (Tou et al., 2001). Par ailleurs, 1m³ de méthane produit peut atteindre une température de 1400 °C de chaleur lors de sa combustion et dégager ainsi des quantités de chaleur allant de 8500 à 9500 kcals. Cette méthode possède des avantages et des inconvénients (Tableau 6).

Tableau 6 : Avantages et inconvénients de la méthode de méthanisation (Rheribla et Ouhammi, 2010)

Avantages	inconvénients
-Génération d'énergie alternative -Réduction de la charge polluante de l'environnement -Amélioration de la fertilité des sols par l'apport de matières résiduelles issues de la bio méthanisation	-Nécessité d'un savoir faire et d'une surveillance continue -Mélange air-biogaz est explosif -Cout élevé

5.6. Le compostage

C'est la méthode la plus recommandée car en plus de la bonne gestion des déchets, elle permet une valorisation à plusieurs niveaux. Le compostage est un procédé biologique aérobie de dégradation et de transformation de la matière organique, permettant d'obtenir un produit valorisable à partir d'un déchet.

II. Compostage

1. Définition

Le compostage est le processus biologique de conversion par fermentation aérobie de matières fraîches en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, le compost (Guét, 2003). Le processus aboutit à la production du compost, amendement organique riches en humus qui constitue 75 à 90% de la matière sèche finale.

2. Principe

Suite à une série de processus, les déchets organiques subissent une dégradation biologique et chimique (figure 3). Les molécules organiques sont transformées par étapes successives en substances de poids moléculaire de plus en plus faibles pour aboutir à la production de dioxyde de carbone (CO₂) et d'eau (Smith, 2004)

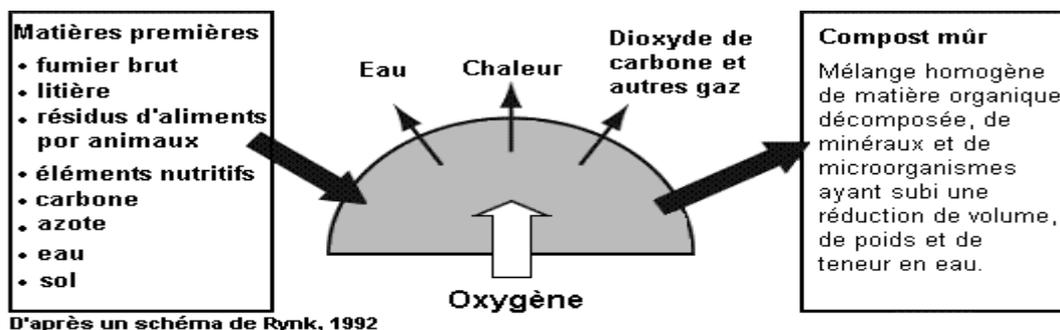


Figure 3: Principe du compostage (Martin, 2005)

3. Les paramètres de compostage

Trois paramètres essentiels doivent être maîtrisés pour garantir un bon démarrage de compostage : le rapport C/N, l'humidité du mélange et la taille des particules (Souidi, 2005(a)). L'aération, la température et le pH sont aussi des paramètres très intéressants pour l'ensemble du processus de compostage.

3.1. Le rapport C/N

Les valeurs recommandées diffèrent d'un auteur à un autre. Ainsi, l'optimum nutritionnel des microorganismes est un rapport C/N situé autour de 30. Pour atteindre cet objectif, le mélange initial à composter doit présenter un rapport C/N compris entre 25 et 40 selon Ragot en 2001 tandis que Marchaim en 1994 recommande que le rapport C/N des matières premières soit compris entre 20 et 25. Si ce rapport est trop élevé, le développement des microorganismes est plus lent ; s'il est faible, une partie de l'azote s'échappe sous forme d'ammoniac (Raven, 2003). Le rapport final C/N devrait se situer entre 10/1 et 15/1. (FAO, 2005). Pour garantir un C/N optimal et une réduction des pertes en azote, un mélange de matières ayant des rapports C/N bien définis (Tableau7) peut être fait pour assurer un bon déroulement du compostage

Tableau 7 : Rapport C/N de matériaux bruts (Ragot, 2001)

Matériaux	C/N
Lisier de porcs	5-7
Lisier de bovins	8-13
Fientes de volailles	10-12
Fumier bovin pailleux	25-30
Pailles de céréales	60-100
Déchets de légumes	10-20
Ecorces, bois de taille	100-150
Sciures, copeaux de bois	150-350

3.2. L'humidité

C'est un paramètre important pour l'activité biologique. Le compost devrait avoir une teneur en eau de 40 à 65% (FAO, 2005). Les conditions d'anaérobioses généralisées ou localisées commencent à se produire au delà de 65-70% d'humidité (Souidi, 2005 (a)). Il faut donc éviter les excès d'eau qui pourraient empêcher l'aération des tas. Dans le cas des faibles teneurs en eau, on assiste à un ralentissement de l'activité biologique.

3.3. La taille des particules

Pour faciliter la biodégradation, la taille des matériaux à composter doit être comprise entre 1,3cm et 5cm (Souidi, 2005(a)). Il faut donc procéder à un broyage des déchets tout en évitant

une granulométrie trop fine. Car la finesse des particules entrainera une absence d'oxygène tandis que la dégradation de particules trop grandes demandera plus de temps.

3.4. L'aération

Ce paramètre est évalué par le taux d'oxygène lacunaire qui est défini comme le pourcentage d'oxygène dans l'air des vides (Boti, 2001). La structure des tas doit permettre une bonne circulation de l'air entre les particules. Un tas de compost bien aéré à au moins une teneur en oxygène de 5% pendant la phase active du compostage mais l'idéal serait proche de 10% (Cooperband, 2002).

Lorsque l'aération diminue (oxygène lacunaire inférieur à 5%), des conditions d'anaérobiose peuvent s'installer, ce qui s'accompagnera naturellement de la production de mauvaises odeurs (Soudi, 2005(a)). L'aération peut être assurée grâce au retournement ou alors par des systèmes d'aération forcés.

3.6. La température

L'énergie libérée par les fermentations à dominance aérobie est à l'origine de l'élévation thermique des masses en compostage, de la destruction des germes pathogènes et de divers parasites indésirables, de l'évaporation de l'eau et de la dégradation accélérée des composts organiques (Boti, 2005). La température idéale pour la phase initiale de compostage est de 20 à 45°C. Les organismes thermophiles ayant pris le contrôle des étapes ultérieures, une température située entre 50 et 70°C sera idéale (FAO, 2005).

3.7. pH

Bien que l'effet tampon naturel du compostage permette l'utilisation de substances dans une large gamme de pH, celui-ci ne devrait pas être supérieur à 8 (FAO, 2005). Pourtant, Marchaim (1994) affirme que la décomposition est possible pour des pH allant de 3 à 9. Pour des pH supérieur à cette valeur, l'on assiste à des pertes d'ammoniac importante dans l'atmosphère. Sa régulation peut se faire par ajout de la chaux vive pour maintenir un pH constant.

4. Le processus de compostage

Après le contrôle des différents paramètres de démarrage du compostage que sont le rapport C/N, l'humidité et la taille des particules, un bon suivi des paramètres de monitoring est aussi nécessaire. Généralement comme le montre la figure 4, l'on distingue principalement deux

phases lors du processus. Ce sont la phase de dégradation qui dure environ 3mois et la phase de maturation pendant laquelle se déroule l'humification pendant 3 à 5mois.

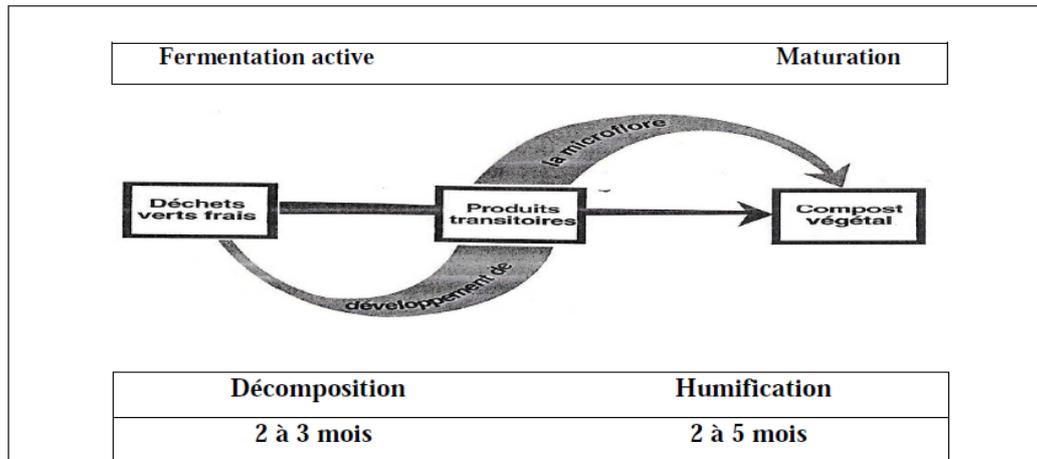


Figure 4 : Les phases de compostage (Jouali, 2005)

4.1. La phase de fermentation active

Au cours de cette phase, l'activité biologique est très intense. Les micro-organismes présents permettent une conversion des fractions organiques fraîches en éléments minéraux et en substances humiques ou pré humiques.

Cette étape de dégradation est caractérisée par des variations importantes de la température suivant trois phases. Elle est le résultat de la transformation de l'énergie des liaisons carbonées en chaleur. Au cours de cette phase, la température monte jusqu'à 40 °C - 45 °C (Figure 5) suite à la respiration des micro-organismes mésophiles aérobies. C'est alors la dégradation des sucres. Par la suite, la température s'élève progressivement jusqu'à atteindre 60 °C - 70 °C (Figure 5) C'est cette fois ci l'activité des organismes thermophiles et des thermo-tolérants qui est plus importante. Cette phase thermophile est importante pour l'hygiénisation. Les germes pathogènes sont détruits, les semences et larves d'insectes sont tuées (Diaz, 2007).

De bonnes conditions d'hygiénisation sont assurées si la température du tas est maintenue à plus de 50°C pendant 3 à 4 semaines. Une heure à 67 °C suffit mais il faut 40 jours à 41°C (Leclerc, 2001). Il faut cependant éviter une augmentation excessive de température au-delà de 60°C car le processus peut être entravé avec un risque d'incendie pour des grands andains (Soudi, 2005(a)). En plus de la température, cette phase est aussi caractérisée par la présence d'une flore microbienne spécifique dominée par les *Actinobacteria* (Diaz, 2007).

Après l'épuisement du stock d'oxygène, il y a un abaissement de la température. L'aération permet alors de restaurer les conditions aérobie du milieu afin d'éviter une putréfaction de la matière. Il résulte de cette étape une réduction du volume, une émission de CO₂ et une baisse de la teneur en eau.

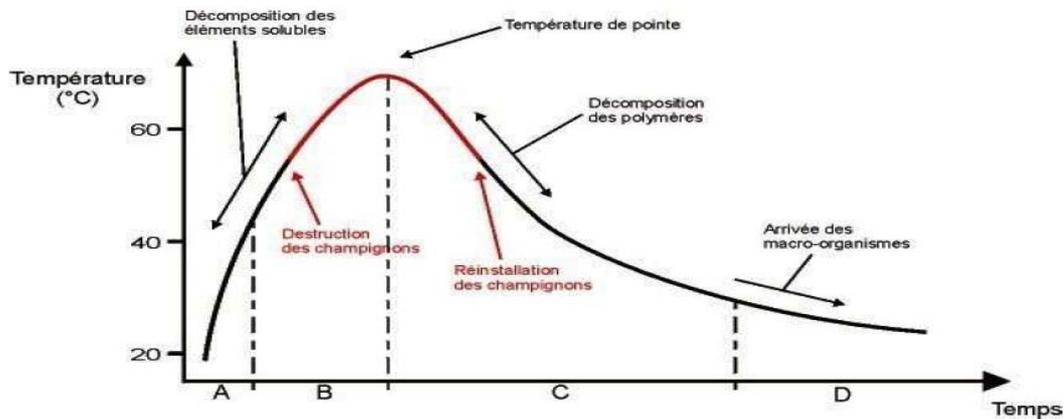


Figure 5 : Variation de la température au cours du processus de compostage (Jouali, 2005)

4.2. La phase de maturation

Au cours de cette phase, la température diminue progressivement pour atteindre des valeurs comprises entre 30 et 45°C (Soudi, 2005(a)). Elle est marquée par une baisse de la température après le retournement. A ce moment, un autre groupe de champignons thermophiles permet la décomposition des composants des membranes cellulaires.

La maturation du compost permet d'éviter les risques entraînés par l'utilisation d'un compost immature: déficience en oxygène et effets toxiques des acides organiques sur les plantes (FAO, 2005). Au cours du processus, la quantité d'humus augmente, le rapport entre le carbone et l'azote (C/N) diminue, le pH devient neutre, et la capacité d'échange du matériau augmente (FAO, 2005). Tout cela aboutit à une diminution d'environ 50% du volume initial de la matière à composter

5. Les différentes méthodes de compostage

Il existe plusieurs méthodes de compostage, à petite et à grande échelle. Cependant, nous ne nous intéresserons qu'aux techniques de compostage actuelles les plus répandues à grande échelle.

5.1. Compostage en andain

Le compostage en andain consiste à placer un mélange de matières premières dans de longs tas étroits appelés andains qui sont remués ou tournés de façon régulière (NRAES, 1992 cité par FAO, 2005). Il existe plusieurs variantes de cette méthode selon le mode d'aération et la fréquence de retournement.

5.1.1. Andains retournés

C'est la méthode la plus répandue dans les exploitations agricoles. L'opération de retournement a pour but d'améliorer l'aération passive des tas, afin de permettre une meilleure activité biologique.

Les superficies occupées sont parfois importantes selon la quantité de déchets. Le besoin en main d'œuvre est fonction du besoin en retournement des tas car cette méthode nécessite un mélange initial et des retournements durant le processus.

La taille de l'andain est un paramètre important pour un bon processus de fermentation. Quand l'andain est trop grand, des zones anaérobies apparaissent à proximité du centre. Des odeurs sont libérées quand l'andain est retourné. Par contre, les petits andains perdent rapidement de la chaleur et risquent de ne pas réussir à atteindre une température suffisamment élevée pour permettre l'évaporation de l'eau et l'élimination des pathogènes et des graines d'adventices (FAO, 2005).

De manière générale, les déchets sont disposés en andains de section triangulaire (base : 2 à 3m, hauteur 1,5 à 2m) (Smith, 2004). La période active est de 21 à 40 jours et la maturation dure 30 à 40 jours et si la durée désirée de compostage est de trois semaines, il faudra retourner l'andain d'une à deux fois par jour pendant la première semaine, et tous les trois à cinq jours par la suite (FAO, 2005). Les nuisances olfactives quant à elles surviennent les 10 premiers jours après le retournement (Soudi, 2005)

Le matériel de retournement utilisé dépend de la hauteur et la largeur de l'andain. Les chargeuses/pelleteuses, dotées d'une longue portée, peuvent construire des andains hauts. Les retourneuses produisent des andains larges et bas (FAO, 2005).

5.1.2. Andains statiques

Avec la méthode des andains statiques, il n'y a pas de nécessité de retournement donc l'aération est naturelle. La demande en main d'œuvre est faible mais elle nécessite de grandes surfaces. La période active va de 6 à 24 mois (Soudi, 2005) et il n'y a pas de maturation et les andains ont une hauteur qui varie entre 1 et 4 mètres. Leur largeur varie de 3 à 7 mètres. Mais généralement plus haut sont les andains, plus il y a émanation des odeurs (Soudi, 2005).

Cette méthode ne nécessite pas de grand investissement financier à cause d'un faible besoin en technologie et en main d'œuvre. Cependant, il existe des problèmes concernant la qualité du compost produit car la méthode ne permet pas un meilleur contrôle des paramètres de monitoring.

5.1.3. Tas statiques à aération forcée

Cette méthode utilise le système d'aération par tuyau qui alimente en air le tas de compost grâce à un ventilateur. C'est un système adopté par les exploitations agricoles et en particulier par les municipalités. Il nécessite un besoin faible en main d'œuvre.

Des tuyaux d'aération sont disposés bout à bout sous toute la longueur de l'andain, les trous devant être assez gros pour assurer une bonne circulation d'air. Les tuyaux et la portion médiane de la base de l'andain sont recouverts d'une matière poreuse comme des copeaux de bois (Martin, 2005) et comme le tas ne sera pas retourné par la suite, la sélection et le mélange initial des matières premières sont cruciaux afin d'éviter une mauvaise répartition de l'air et un compostage irrégulier (FAO, 2005). Cette méthode nécessite un mélange initial, le suivi de l'aération et le contrôle de la température. Les tas statiques à aération forcée n'exigent pas de retournement, ni de grande superficie. Ils sont de tailles très importantes allant de 3 à 4,5 mètres avec des largeurs variables. La période active va de 21 à 40 jours tandis que la durée de maturation se situe entre 30 et 40 jours.

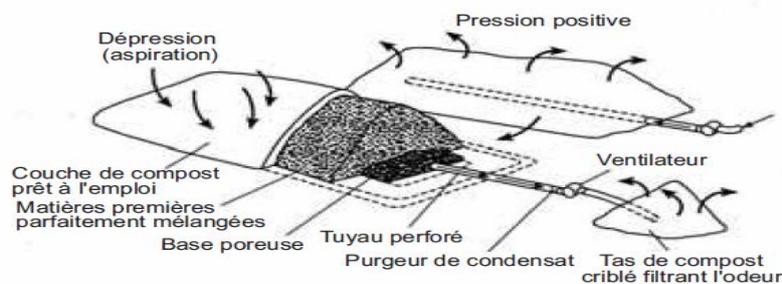


Figure 6 : Image d'un tas statique à aération forcée (NRAES-114, 1999 cité par FAO, 2005)

5.2. Compostage en récipient clos

Le compostage en récipient fait référence à un ensemble de méthodes qui confinent les matières à composter dans un bâtiment, un conteneur ou un récipient (Abrecht, 2007). Ce sont les systèmes qui s'assortissent du plus grand nombre d'exigences au niveau de la conception. Ces systèmes vont des canaux de béton dotés de mélangeurs mécaniques à tambours métalliques rotatifs (Martin, 2005)

5.2.1. Compostage en casier

La matière à composter est dans un espace clos avec généralement un toit. L'aération peut être naturelle ou forcée ou alors grâce à un retournement mécanique. Il faut juste un mélange initial. La superficie nécessaire est réduite et limitée et la demande en main d'œuvre est faible. La période active est comprise entre 2 et 6 mois et la maturation dure 1 mois. La hauteur et la largeur dépendent des dimensions des casiers. Les odeurs surgissent lors des retournements (Souidi, 2005). Les casiers permettent aussi d'éliminer les problèmes climatiques, de maîtriser les odeurs et d'offrir un meilleur contrôle de la température (FAO, 2005).

5.2.2. Conteneurs transportables

Cette technique est basée sur un conteneur transportable et une installation centrale de compostage (FAO, 2005). C'est un système à grande échelle pour les applications commerciales et communautaires. Chaque agriculteur accumule les déchets de cultures, le fumier et autres déchets organiques dans un conteneur qu'il reçoit de la centrale de compostage. Dans ces conteneurs commence le processus de compostage. Par la suite ces conteneurs sont récupérés par la centrale ou continuera le processus. Les paramètres de monitoring sont très suivis et contrôlés et Il y a émanation d'odeurs qu'en cas de défaillance dans le système. Ce système exige une main-d'œuvre qualifiée et un bon écoulement du compost sur le marché pour le recouvrement des couts (Souidi, 2005).

6. Les méthodes d'évaluation de la maturité du compost

La détermination de la maturité du compost est une étape très importante pour éviter des problèmes lors de l'utilisation du compost comme la phytotoxicité par exemple. Il existe plusieurs moyens pour évaluer la maturité du compost.

6.1. Les méthodes empiriques

Elles se basent sur une évaluation visuelle et sur des impressions tactiles (Boti, 2001). Il s'agit d'observer le compost et de le manipuler pour déterminer son stade de maturité. On vérifiera ainsi sa bonne odeur, sa couleur foncée et ses particules granuleuses, sa température basse, proche de la température ambiante et la présence de certains arthropodes qui sont généralement des cloportes, des scarabes et des mille-pattes

Les limites de cette méthode sont qu'elle exige une certaine expérience de la part de la personne évaluant le compost, spécialement pour discerner un compost mi-mûr d'un compost mûr et aucune donnée quantitative n'est générée (Duval, 1993).

6.2. Méthodes physico-chimiques

Ces méthodes se basent sur des paramètres physiques comme la température, la granulométrie et des paramètres chimiques comme par exemple le C/N. Un test simple pour vérifier si le compost est stabilisé est celui de la réhumidification. Il s'agit d'humidifier à 50% le compost et de l'aérer par brassage intense. On fait par la suite le suivi de la température. L'absence de toute remontée de température indique que le compost est vraiment stabilisé, ce qui ne veut pas nécessairement dire qu'il n'est pas phytotoxique (Duval, 1993). Concernant la granulométrie, il suffit juste de faire passer le compost dans un tamis de 25 mm. Si la grande partie passe au travers du tamis, cela signifie que le compost est mur.

Dans le cas des méthodes chimiques, dans un laboratoire, peut être déterminer le rapport C/N et il doit être supérieur à 19 pour que le compost soit mur. Par ailleurs la demande chimique en oxygène (DCO) doit être inférieure à 350 mg /l.

6.3. Méthodes biologiques

La méthode la plus simple est celle du test de germination. Le principe consiste à placer les graines de cresson (*lepidium Sativum*), de laitue ou de ray gras d'Italie dans une série de boîte de pétri avec du papier imbibé de doses croissantes d'extraits de compost; et une autre série de témoins (sans compost) est préparée (Souidi, 2005(a)). Le tout est mis dans un incubateur durant 24heures. Après, on détermine le nombre de graines ayant germées et la longueur des racines qui se sont développées.

Par la suite, on détermine l'indice de germination (IG) (Souidi, 2005(a)) :

$$IG = (GB/GT).(LB/LT).100$$

Avec :

IG : indice de germination

GB : nombre de graines germées dans le cas d'apport du compost

GT : nombre de graines germées dans le cas du traitement témoin

LB : longueur des racines dans le cas d'apport du compost

LT : longueur des racines dans le cas du traitement témoin

Si l'IG est inférieur à 50%, le compost n'est pas mûr (Souidi, 2005(a)).

7. Méthodes de calcul d'optimisation des mélanges

Dans le but d'obtenir des paramètres de démarrage adéquat pour un mélange de matière première, des méthodes de calcul ont été établies pour le C/N et l'humidité. Ainsi des formules de calculs ont été établies comme suit (Souidi, 2005):

$$(C/N) \text{ mélange} = [M1(C1 \times (100 - H1) + M2(C2 \times (100 - H2)) + M3(C3 \times (100 - H3) +] / \\ [M1(N1 \times (1 - H1) + M2(N2 \times (1 - H2) + M3(N3 \times (1 - H3) + \dots)]$$

Ou :

(C/N)mélange : rapport C/N du mélange des matières à composter

Mi : masse fraîche de la matière i

Hi : humidité de la matière i

Ci : teneur en carbone en % du poids sec de la matière i

Ni : teneur en azote en % du poids sec de la matière i .

Pour l'optimisation de l'humidité de la matière à composter, la formule suivante est proposée (Souidi, 2005) :

$$\text{Humidité du mélange} = [(M1 \times H1) + (M2 \times H2) + (M3 \times H3) + \dots] / M1 + M2 + M3 + \dots$$

Il existe de même des programmes d'optimisation des paramètres de démarrage du compostage sur le marché. Nous pouvons citer à cet effet les programmes OTPICOMPOST SL développé par Souidi et Lahlou en 2007 mais aussi THE COMPOSTER (Banout, 2005) Dans ce dernier, une base de données est établie, à travers laquelle l'utilisateur pourra désigner toutes ses matières premières utilisées. Après validation de ceux-ci, le C/N et les quantités appropriées pour chaque matière première sont définies. Ce programme possède bien d'autres fonctionnalités pour optimiser les mélanges du compost.

8. La plate-forme de compostage

Le site de compostage doit obéir à certaines règles afin d'éviter tous problèmes comme les odeurs mais aussi des problèmes de pollutions des ressources naturelles. Il faut donc à cet effet respecter une distance de 500 m entre le site et tous points d'eau et une distance de 30 m minimum par rapport aux terres cultivées. La distance et le mode de transport des déchets doivent être suivis afin d'éviter tous risques de contamination dans l'air de microbes ou de spores. Il faudra par ailleurs tenir compte des caractéristiques du terrain comme les pentes, les risques d'engorgement et d'inondation, les possibilités d'extension du site.

Le dimensionnement de la plate-forme doit tenir compte des quantités de déchets à composter, leur durée de stockage au niveau de chaque étape, la technique utilisée et la taille des andains, les espaces appropriés pour les équipements et le déplacement des machines et enfin les locaux particuliers comme les toilettes. Les différentes aires de stockage à différents stades doivent être à une certaine distance afin d'éviter par exemple une contamination du compost mur par des germes issus de déchets frais par exemple et toute la plate forme doit être imperméabilisée pour éviter une infiltration et une pollution du sol et de la nappe. Les andains doivent être installés sur des terrains en pente douce (0,5% -3%) avec l'andain haut de la pente. Cela permet de gérer le ruissellement (Martin, 2005).

Pour la fabrication d'un bon compost, la matière première doit passer par plusieurs étapes en fonction de la technique de compostage adoptée. Cela conduit à l'installation de plusieurs équipements et matériels à des endroits précis sur la même plate-forme pour réduire les coûts de transport. Généralement, le compostage nécessite un système de tri pour l'élimination des matériaux non compostable comme par exemple les fils de fer enchevêtrés dans les résidus de cultures. Il faut par la suite un système de broyage pour réduire la taille des matières premières. Trois types de broyeurs sont généralement utilisés : ce sont des les broyeurs à dents, à marteaux ou a fléaux. Les retourneurs permettront l'aération des andains si nécessaires et ils peuvent être tractés ou autonomes. Les cribleurs sont des appareils pour le tamisage du compost. Ils permettent d'évaluer la quantité de refus et ainsi déterminer le degré de maturation du compost .Il est nécessaire de disposer de système de gestion des lixiviats comme par exemple des bassins de collecte. En France, dans la région de Poitou-Charentes, il existe deux types de plates formes de compostage. Ce sont les plate formes de compostage des ordures ménagères et déchets verts comme les résidus de cultures qui peuvent traiter jusqu'à 79400 tonnes de déchets.

9. Normes de qualité et certification du compost

La qualité de compost est gérée par des normes ou par des labels qualité. La production et l'utilisation du compost sont donc soumises à une réglementation ; cependant, cette réglementation ne s'applique qu'à l'union européenne. Des projets de lois sur l'utilisation du compost sont en cours au Maroc.

La réglementation européenne inclut le compost dans l'ensemble des amendements organiques pour le sol. Et c'est dans ce cadre que le compost est donc soumis à la norme NFU 44 051 qui fixe des seuils minimum ou maximum de certains paramètres et des limites concernant les éléments polluants inertes tels que plastiques les métaux lourds, les polluants organiques et les agents pathogènes. Ainsi concernant les seuils, les teneurs en N, P₂O₅ et K₂O doivent être inférieures à 3 % de la matière brute, tandis que la somme de ces éléments en matière brute doit être inférieure à 7%. Par ailleurs le pourcentage de matière sèche doit être supérieur à 30% de la matière brute. Des dénominations ont été définies avec des exigences particulières. (Tableau 8)

Tableau 8: Amendements organiques et dénominations et spécifications (Houot et al., 2009)

Dénominations	spécification
Fumier	MO ≥ 20% MB
Déjections animales sans litière	MO ≥ 25% MB
Fumier et ou lisier et ou fientes compostés	MO ≥ 20% MB
Compost vert	MO ≥ 20% MB
Compost de fermentescibles alimentaires et/ou ménagers	MO ≥ 20% MB
Matières végétale	MO ≥ 25% MB
Matières végétales en mélange	MO ≥ 25% MB
Mélange de matières végétales et animales	MO ≥ 25% MB
Compost végétal	MO ≥ 20% MB
Compost de matière végétal et animale	MO ≥ 20% MB
Compost de champignonnière	MO ≥ 20% MB CaO ≥ 7%

MB : matière brut

Cette norme définit par ailleurs les valeurs limites d'éléments traces métalliques (ETM) et des composés traces organiques (CTO) présents dans les amendements organiques (tableau 9) au cours du processus de production et de traitement des cultures avec des produits phytosanitaires et des pesticides. Les composés traces organiques étant des composés organiques plus ou moins rapidement dégradables, la maîtrise de l'activité microbienne au cours du compostage peut contribuer à diminuer les teneurs en CTO des composts (Houot, 2009).

Tableau 9 : Concentrations maximales en ETM et CTO définies dans les normes NFU 44-051 et NFU 44-095, qualifiant respectivement les amendements organiques et les composts de boues d'épuration (Houot et al., 2009)

	NFU44-095 mg/kg MS	NFU44-051 mg/kg MS	g/ha/10 ans	g/ha/épandage
As	18	18	900	270
Cd	3	3	150	45
Cr	120	120	6000	1800
Cu	300	300 ou 600 mg/kg MO	10000	3000
Hg	2	2	100	30
Ni	60	60	3000	900
Pb	180	180	9000	2700
Se	12	12	600	180
Zn	600	600 ou 1200 mg/kg MO	30000	9000
Fluoranthène	4	4	60	6
Benzo(b)fluoranthène	2,5	2,5	40	4
Benzo(a)pyrène	1,5	1,5	20	2

Les teneurs en agents pathogènes dans les amendements organiques comme le compost doivent être inférieures aux valeurs limites du tableau 10. Une importance particulière doit être accordée à la méthodologie d'analyse effectuée pour obtenir ces valeurs.

Tableau 10 Valeurs limites en agents pathogènes sur le produit brut des amendements organiques. (AFNOR, 2006)

	Toutes cultures sauf cultures maraîchères	cultures maraîchères	Méthodes d'analyse
Œufs d'helminthes viables	Absence dans 1,5 g	Absence dans 1,5 g	XP X 33-017
Salmonella	Absence dans 1 g	Absence dans 25 g	NF V 08-052 NF EN ISO 6579

Les valeurs limites en impuretés inertes sont elles aussi fixées (tableau 11) et des matières inertes exogènes ne doivent pas être ajoutées aux amendements organiques.

Tableau 11 : Valeurs limites en inertes et impuretés (AFNOR, 2006)

Inertes et impuretés	Valeurs limites
Films + PSE > 5 mm	< 0,3 % MS
Autres plastiques > 5 mm	< 0,8 % MS
Verres + métaux > 2 mm	< 2,0 % MS

Par ailleurs, certifications et labellisations ont été mises en place pour encourager une bonne gestion et valorisation des déchets produits et une utilisation sous diverses formes au niveau de l'agriculture comme l'exige la certification de l'organisme GLOBALGAP. Des labels comme l'Ecolabel ou Ecofert qui fixent les valeurs seuils (tableau 12 et 13) pour certains éléments traces métalliques et des germes pathogènes.

Tableau 12 : Valeurs limites des éléments traces métalliques de Ecolabel (ADEME, 2000)

Eléments traces métalliques	Valeurs limites (mg/kg M.S.)
Zn	300
Cu	100
Ni	50
Cd	1
Pb	100
Hg	1
Cr	100
Mo	2
Se	1,5
As	10
F	200

Tableau 13 Exigences sur les germes pathogènes par ²Ecolabel (ADEME, 2003)

Germes pathogènes	Exigences
Salmonelles	absence dans 25 g
Escherichia coli	< 1000 NPP ¹ /g

Dans le domaine de l'agriculture biologique, il existe une réglementation qui régie la production et l'utilisation du compost. Cette réglementation définit les types de compost qui sont utilisables dans ce type d'agriculture. Ce sont les composts d'excréments comme le fumier et les fientes de volailles, le compost de déchets ménagers ou de végétaux qui peuvent être épandus en agriculture biologique à condition de respecter les valeurs seuils établies (Tableau 14) et d'être produit dans un système de collecte fermé et contrôlé (Leclerc, 2000).

Tableau 14: Valeurs limites des éléments minéraux dans le compost en agriculture biologique (Leclerc, 2000)

Elément minéraux	Teneurs maximales en éléments minéraux en mg/kg de MS
Cadmium	0,7
Cuivre	70
Nickel	25
Plomb	45
Zinc	200
Mercurure	0,4
Chrome total	70
chrome(VI)	0

La réglementation du compost en agriculture biologique se révèle donc plus stricte que la norme NFU 44 051 et les normes de labellisation, cela en vue de protéger la production agricole biologique de toute contamination par des substances considérées comme polluantes. Pourtant, au Maroc, la certification des unités de compostage n'est pas très répandue cela est quelque peu dû au manque de réglementation précise sur la production du compost. Cependant, Soudi en 2005 a défini des valeurs limites comme recommandation pour qu'un compost soit considéré comme mature (Tableau 15)

Tableau 15 : Qualité d'un compost (Soudi, 2005(a))

Paramètres et constituants	Valeurs limites pour la valorisation en agriculture	Valeurs limites pour une valorisation dans les espaces verts
Granulométrie	7-13mm	7mm
Humidité%	30-35%	30
Matière organique (%MB)	30-40%	30-50%
C/N	12à15	12à15
pH	5-7,5	5-7,5
Conductivité(mS /cm)	2-5	2-3
Inertes totaux de diamètres < 5mm	Inferieur a 8% sur MS	<2%
Dont verre de diamètre < 5mm	Inferieur a 0,5% sur MS	0%
Verres et métaux de diamètre < 2mm	Inferieur a 5% sur MS	0%
Synthétique lourds de diamètre < 5mm	Inferieur a 1% sur MS	1%
Synthétique légers (films) de diamètre < 5mm	Inferieur a 0,5% sur MS	1%
Synthétique totaux de diamètre < 2mm	Inferieur a 1,7% sur MS en moyenne avec analyse en continu	1%
Coupants, tranchants	absence	Absence
Plastiques et textiles	<5%	<1-2%
Maturité (apprécié par le taux de germination des graines de cresson)	>à 60%	60%
Germes phytopathogènes	absence	absence

10. Coût du compostage des déchets agricoles et horticoles

Les coûts de production du compost dépendent essentiellement des coûts d'approvisionnement en déchets, des coûts de transport en fonction de la distance entre la plate forme et le lieu de production des déchets, de l'importance de la main d'œuvre utilisée, des coûts de l'énergie et de l'eau utilisée, mais aussi du terrain et de la nature des déchets à composter.

Le coût du compostage est variable en fonction des méthodes de compostage et du niveau de technicité adopté sur la plate forme et l'estimation des coûts doit tenir compte de la capacité de traitement de l'unité, du degré de mécanisation et de la durée du processus de compostage (Rheribla et Ouhammi, 2010).

Le coût total est composé du coût d'investissement qui comprend le coût du terrain, les bâtiments, les équipements, et les coûts de fonctionnement composé des coûts d'entretien, la main d'œuvre etc.

En France, le coût du compostage est évalué entre 30 et 99 euros/tonne. Des études de cas d'analyse des coûts relatives à la mise en place d'unité de compostage de déchets verts ont été réalisées en Tunisie par l'agence de promotion des investissements agricoles. Nous nous intéresserons aux coûts d'investissement (tableau 16) et d'exploitation (tableau 17) sur une superficie de 2000 m³ pour le compostage de déchets verts en Tunisie.

Tableau 16: Coût d'investissement pour le compostage de déchets verts (Agence de promotion des investissements agricoles, 2011)

Composantes	quantité	Prix unitaire	Valeurs(DT)
Génie civil			27500
Bâtiment couvert	100m ²	100	10000
Hangar	50m ²	100	5000
Plates-formes	500m ²	25	12500
Equipements			7020
Broyeur	1	2000	2000
Tamis	5	20	100
Brouettes	4	40	160
Bascules	1	1500	1500
Tronçonneuse	1	650	650
Débroussailleuse	1	850	850
Outillage	-	-	500
Thermomètre	2	600	1200
Tuyaux	100m	1	60
Total			34520

Ces données sont exprimées en Dinar tunisien. Et 1dinar tunisien=5,71dirham marocain

Ce tableau présente les frais d'investissement dans le cas où l'entreprise se charge elle-même de la collecte des matières premières comme les mauvaises herbes issues du débroussaillage ou encore la coupure des arbres. Ces coûts concernent par ailleurs les résidus de cultures et autres déchets verts. Ils peuvent être variables selon les matières premières utilisées. Par exemple le broyage devra être plus important pour les matières beaucoup plus ligneuses que pour le fumier ou les fientes de volailles. L'on voit que le génie civil principalement les bâtiments et les plate-formes nécessite jusqu'à 80% de l'investissement total. Les coûts de fonctionnement (Tableau 17) dépendent principalement du coût de la matière première, de son transport mais aussi de la main d'œuvre

Tableau 17: Coût de fonctionnement pour le compostage de déchets verts (Agence de promotion des investissements agricoles, 2011)

rubriques	Année de démarrage		Année de croisière	
	quantité	Valeurs(DT)	quantité	Valeurs(DT)
Matière premières	600T	1800	1000T	3000
Sacs plastiques		2500		2700
Ammonitrate	2T	414	3T	690
transport	400voyages	8000	667voyages	13340
Main d'œuvre	3	9000	3	9000
divers		4700		4700
total		26424		33430

Il faut savoir que l'Ammonitrate est un additif que l'on doit ajouter aux déchets verts pour permettre de meilleures conditions de compostage. Le tableau 18 présente Les prix de vente du compost produit.

Tableau 18: Prix de vente du compost (Agence de promotion des investissements agricoles, 2011)

produits	Année de démarrage		Année de croisière	
	Quantité(T)	Valeurs(DT)	Quantité(T)	Valeurs(DT)
Compost vrac	75	13.500	125	22.500
Compost sacs	75	15.000	125	25.000
Total	150	28.500	250	47.500

Par ailleurs, une étude de faisabilité de compostage des déchets verts a été réalisée au Maroc (Zeddou, 2009) et coûts de fonctionnement estimés sont présentés dans le tableau 19.

Tableau 19 : Coût de fonctionnement pour une unité de compostage de 30 000 t/an de déchets verts (Zeddou, 2008)

Désignation	Coût en Dh/an
Consommation moyenne du carburant (30 000L)	180 000
Pièces de rechange (pièces de maintenance, des machines, pièces d'usure)	500 000
Personnels :	
<input type="checkbox"/> 3 Ingénieurs.	360 000
<input type="checkbox"/> 10 ouvriers.	240 000
<input type="checkbox"/> 1 gardien.	18 000
Collecte et transport des déchets verts jusqu'à l'unité de compostage.	935 000
Total	2 233 000

Au niveau du fonctionnement, l'on voit que la grande charge réside au niveau du transport des déchets vers l'unité. Ainsi, en estimant le prix de vente de la tonne de compost entre 300 et 350dh/tonne, le bénéfice net réalisé sera compris entre 567 500 et 1 034 250 Dh, pour une capacité de traitement de 20 000 t/an soit 230dh/tonne(Zeddou, 2008)

Toujours au Maroc, Souidi, en 2009 démontre que le cout d'investissement pour une unité pilote de compostage de 2500 tonnes/an de déchets organiques dans la région de Zraïb s'élève à 246 dhs/tonnes. Les coûts de fonctionnement étant de 90 dhs/tonnes de compost produit.

11. Valorisation du compost

11.1. Valorisation agronomique du compost

La valeur agronomique des composts peut être définie comme l'aptitude des composts à améliorer la fertilité des sols. (Rheribla et Ouhammi, 2010). Sa richesse en éléments nutritifs (Tableau 20) pour la plante, sa capacité pour l'amélioration des propriétés du sol font de lui un très bon amendement et engrais organiques. L'apport d'un compost mur au sol permet d'améliorer ses propriétés physiques, chimiques et biologiques (Tableau 21)

Tableau 20: Composition de compost de fumier de cheval et de bovin (LANO, Haras nationaux, cité par Lemièrre, 2008)

	MS%	C/N	%N	%P	%K	%Ca	%Mg
Compost de fumier de cheval	41	16	5.2	3.7	7.9	12.2	1.6
Compost de fumier de bovin	19.8	16.6	25.3	14.6	31.2	18.7	6.6

Il faut par ailleurs ajouter à tout cela que les propriétés physiques du compost de résidus de cultures font de lui un amendement fort intéressant pour l'entretien des terres en apportant de la matière organique stable. En effet, il permet une bonne stabilité des agrégats du sol ce qui influe positivement sur d'autres paramètres physiques comme l'aération et la porosité. Par sa caractéristique d'amendement organique et de fertilisant, il permet d'améliorer les teneurs en éléments nutritifs du sol, et en éléments minéraux libérés progressivement dans le temps.

Tableau 21 : Principales actions du compost sur les paramètres de qualité du sol (Souidi, 2001, cité par Boti, 2001)

Paramètres	Action du compost	Conséquences
Stabilité structurale	Augmentation de la stabilité des agrégats en jouant sur 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 dol et particulièrement des sols sableux	Réduction de la lixiviation des nitrates et autres ions dans les sols des 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	Retentions des cations et particulièrement dans les sols sableux de faibles teneurs en colloïdes argileux et humiques et augmentation de la capacité d'absorption des pesticides et de complexation des métaux lourds rendant ceux-ci moins biodisponibles donc et donc moins phytotoxiques.
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

En ce qui concerne l'activité biologique dans le sol, le compost constitue, en association avec un bon travail du sol, un bon moyen de lutte contre les nématodes. En effet, l'apport de compost au sol permet la diminution des nématodes selon deux principaux mécanismes (Norton, 1979, cité par Villenave et al., 1998). Lors des apports de matière organiques au sol, les organismes antagonistes aux nématodes peuvent devenir plus abondants, mais encore, certains acides organiques issus de la décomposition de la matière organique sont toxiques pour ces phytoparasites.

Ainsi, par son apport de matière organique stable au sol, le compost permet d'améliorer les propriétés physicochimiques et biologiques du sol. L'épandage du compost sur le sol permet une augmentation du carbone organique dans le sol. Cependant la vitesse de cette augmentation dépend de plusieurs facteurs comme le sol, le climat, les techniques culturales appliquées, les quantités épandues ainsi que la qualité du compost.

Par ailleurs, en 1987, au Sénégal, Feller met en exergue l'effet de l'apport du compost des coques d'arachide sur la teneur en matière organique du sol. En effet, on observe une différence significative sur la teneur du sol en carbone organique et en Azote entre les sols ayant reçu des coques d'arachides simple et ceux ayant reçu des coques d'arachides compostées. (Tableau 22)

Tableau 22 : Présentation de la différence de teneur en carbone et l'azote dans un sol suite à l'apport de coques d'arachide et de compost des coques d'arachides (Feller et Grany, 1987)

Fraction organique	Teneur en carbone en mg/g de sol	Teneur en azote en mg/g de sol
Coques d'arachides	2.38	0.172
Compost des coques d'arachides	2.72	0.25
Témoin sans apport	1.86	0.23

11.2. Valeur énergétique du compost

Le compostage est un processus qui dégage de la chaleur suite à l'activité microbienne. Les excédents de cette chaleur perdue peuvent être retenus grâce à un système de récupération.

Devisscher (1997) rapporte qu'un tas d'environ 25 tonnes de broyat dont la température moyenne interne était de 65°C a permis d'élever de 12°C à 45,5°C 22 473 litres d'eau en 225 jours. L'énergie fournie était donc de 1659 kWh avec une puissance de 12,3 W/tonne. La récupération de cette chaleur pourrait servir par ailleurs à la production agricole en chauffant les serres. Cependant le rendement est fonction de la nature des matières premières. Ainsi, on peut obtenir un rendement de 34,4% de l'énergie d'un fumier de poulet composté dans un fermenteur contre 12,6% pour le fumier de bovin (Mustin, 1987).

11.3 Valorisation environnementale du compost

Déjà par le fait de la gestion optimale et la valorisation des déchets organiques, le compostage est une méthode qui a une très grande influence positive sur l'environnement. Il permet, en effet, une diminution considérable des gisements des déchets solides mais aussi une baisse de la manipulation risquée et irraisonnée des fertilisants chimiques. Son utilisation contribue ainsi à l'application de bonnes pratiques agricoles, mais aussi à la conservation des ressources surtout la richesse des sols en matières organique.

De plus, il a une propriété bénéfique pour l'air que nous respirons. Il permet en effet de retenir les composés minéraux et organiques toxiques et malodorants présents dans l'air. Il peut donc être considéré comme un milieu absorbant et peut être utilisé dans les systèmes de filtration de l'air dans le cas des mauvaises odeurs.

Dans l'objectif de la conservation des ressources naturelles, le compost permet la remise en état des sols qui ont subi des dégradations en rétablissant leur fertilité par l'amélioration des propriétés et aussi la revégétalisation de certains sites comme les carrières.

12. Contraintes d'utilisation du compost

Le compost est un moyen de valorisation des déchets à travers l'enrichissement des sols en matières organiques mais son utilisation peut présenter des risques dans certaines conditions. Ces sont généralement l'utilisation de composts immatures, contenant des métaux lourds ou encore ayant un taux de salinité très élevé.

12.1. Problèmes liés à l'utilisation du compost immature

Il est difficile de déterminer la stabilité et la maturité d'un compost à partir d'une analyse visuelle ou de l'analyse d'un paramètre unique (Diaz et al, 2007). Pourtant, si le processus de compostage n'est pas achevé, le compost pourrait présenter des risques phytopathologiques. En effet, le compost immature continue sa décomposition dans le sol ; vu que les microorganismes utilisent l'oxygène du sol pour la décomposition de la matière, l'on aura des conditions anaérobies. Cela privera donc les racines des plantes d'oxygène et entrainera la production de sulfure d'hydrogène et de nitrite. (Mathur et al., 1993 cité par Insam et al., 2009).

Le compost immature se présente comme très dangereux pour les cultures. En effet, les déchets de culture compostés qui utilisés sans atteindre la maturité peuvent contenir des larves d'insectes phytopathogènes mais aussi des semences de mauvaises herbes qui n'ont pas été

détruites durant le processus. L'épandage de ce compost peut donc être la source d'infestation de mauvaises herbes et de contamination des germes indésirables.

12.2. Problème lié à la teneur en métaux lourds

Il faut d'abord savoir que ces éléments sont indispensables à la vie en infime quantité mais parfois peuvent devenir toxique (Bron et al., 2004). Cette toxicité résulte en grande partie de leur affinité pour les groupements -SH des enzymes qu'ils inactivent après s'y être liés (Davet, 1996). En général, le compost de déchets organiques agricoles est considéré comme exempt de toute présence de métaux lourds. Pourtant, les déchets de cultures mis en compostage peuvent en contenir à cause de leur capacité d'accumulation, surtout pour les cultures maraichères. En effet, au cours d'une étude réalisées sur des tomates au Maroc en 2009, Kassaoui et al. ont évalué l'importance de l'accumulation de métaux lourds dans les différents organes des plants de tomates et de laitue suite à l'apport de boues d'une station d'épuration sur le terrain. Cette étude montre que les teneurs en Cu chez la tomate dépassent 15 ppm, seuil de début de toxicité fixé par l'OMS mais aussi une accumulation des autres métaux lourds comme le cadmium et le chrome. De plus, Le chrome et le manganèse s'accumulent d'une manière significative au niveau des racines et de manière moindre dans les feuilles et par la suite dans les tiges. Cependant, le seuil de toxicité des métaux lourds vis-à-vis des plantes est lié à l'espèce, la variété, au stade de végétation et à la dynamique du sol vis-à-vis des éléments nutritifs (Bron et al., 2001. Comme l'a dit Pousset (2008), la chaleur d'un tas de compost n'élimine nullement les métaux lourds.

L'épandage d'un compost riche en métaux lourds est dangereux pour le sol la plante et l'homme. Le sol devient un milieu de stockage si les conditions de celui-ci ne changent pas (Hertig et Fellot, 2006).

Les conséquences sont généralement un niveau de phytotoxicité variable selon l'espèce, une baisse de la fertilité des sols, une probable réduction de l'activité microbienne dans le sol et une contamination de l'homme. Pour préserver donc l'homme et son environnement de tous ces effets néfastes, des normes ont été mises en place, pour fixer les valeurs limites des teneurs en métaux lourds des matières fertilisantes épandues.



**MATERIEL ET
METHODES**

I. Rappel des objectifs du travail

Les objectifs principaux de cette étude sont l'évaluation du potentiel des déchets agricoles et horticoles de la région du Souss Massa Drâa, et le diagnostic des unités de compostage de la région et de la qualité du compost produit afin de conclure des impacts possibles de cette méthode de valorisation des déchets agricoles et horticoles pour la région.

Ainsi, une enquête est réalisée dans la région, suivie d'une collecte d'échantillons et de certaines analyses de ces échantillons au laboratoire.

II. Zone d'étude

1. Localisation



Figure 7 : Carte du Maroc et de la région du Souss Massa Drâa

La région du Souss massa, situé au centre du Maroc s'étend sur une superficie de 72516 km², soit 10% de la superficie du Maroc. Elle est limitée au nord par la région Marrakech Tensift Al Haouz, au Sud, par la région de Guélmim Es Semara, à l'Est, par la région de Meknès Tafilalet et à l'Ouest, par l'Océan Atlantique ; La région est composée de 2 préfectures qui sont Agadir-Ida-Outanate et Inezgane-ait melloul et 5 provinces qui sont Chtouka ait baha, Tiznit, Zagora, Taroudant et Ouarzazate.

D'après le recensement de 2004, la population de la région s'élevait à 3 094 985 habitants (EUROPALLIANCE CONSULTING, 2010).

2. Le climat

La région du Souss massa Drâa est soumise à un climat aride et semi-aride dont l'intensité augmente progressivement d'ouest en est et du nord vers le sud (ORMVA/SM et al, 2008).

La moyenne des précipitations est de 250 mm/an et la température moyenne va de 14 à 36°C (ORMVA/SM et al, 2008) avec de fortes variations. Le climat est influencé par 3 facteurs qui sont le désert, le relief et la cote océanique. Ainsi l'on pourrait diviser la région en trois zones en fonction du climat :

le nord dominé par l'atlas subi un climat variant entre l'humide et le semi aride.

la plaine qui occupe les bassins du Souss massa Drâa connaît un climat aride et enfin, le sud et le sud ouest qui sont soumis à un climat désertique.

3. Économie

La région du Souss-Massa-Draa contribue dans, l'économie marocaine, à 12,3% du PIB total et est classée deuxième derrière le grand Casablanca (CRI-Agadir, 2010). Le secteur d'activité principale de la région est le secteur primaire grâce à l'agriculture qui représente plus de 52% des emplois.

Cependant le secteur le plus générateur de revenu demeure le secteur tertiaire

4. La production agricole

La production agricole occupant une part importante dans le développement économique s'étend sur une SAU de 560 700 ha.

Les zones agricoles sont principalement concentrées dans la plaine du Souss massa composée de Agadir, Taroudant et Tiznit. La superficie cultivée en 2008 s'élevait à 434.400 Ha dominée à 48% par les céréales (ORMVA/SM et al, 2008). La production d'agrumes et de maraichage demeure la plus importante du Maroc. La contribution de la région dans les exportations nationales des agrumes et des primeurs, dépasse respectivement 60% et 80% (Cri- Agadir, 2010).

Les cultures maraichères s'étendaient sur 25 500 ha en 2008 dont les 80% sont abrité par la plaine du Souss, et 50% occupé par les tomates sous serre. La production moyenne des maraichages est estimée à 1.256.000 Tonnes, dont 75% provient des primeurs.

La superficie moyenne occupée par les cultures maraichères est de 25.500 ha, la plaine du Souss Massa en abrite 80 %. Les cultures de primeurs occupent environ la moitié de cette superficie, soit 13.750 ha. La Tomate sous-serre couvre 50 % de cette superficie. Le volume des exportations des primeurs s'élève, en 2007, à 580.000 tonnes dont 330.000 tonnes de tomate. La superficie agrumicole de la Région est estimée à plus de 33.000 ha, soit 40,5% de la superficie nationale et est dominée par la variété de clémentine à 38% suivi de la Navel à 15% et enfin la Maroc- late. Les rendements s'élèvent en moyenne à 25 tonnes/ ha. La production d'agrumes moyenne des 5 dernières années représente presque 50% de la production nationale.

Il est à noter que La région Souss Massa Draa est la première région phoénicicole du Maroc. En effet, la production moyenne de dattes s'élève à 42.500 tonnes soit plus de la moitié de la production national). Au niveau de la production animale, l'effectif s'élève à environ 2.230.000 têtes dont 220.000 têtes de bovins, 1.050.000 têtes d'ovins et 960.000 têtes de caprins (ORMVA/SM et al, 2008).

5. Ressources en Eau

Il y existe 5 bassins principaux. (Tableau 23)

Ce sont le bassin du Souss, le bassin du Massa, les bassins côtiers atlantique de Tamri et Tamraght, le bassin de Tiznit Adoudou et enfin le bassin de Sidi Ifni.

Tableau 23 : les principaux bassins de la région du Souss Massa Drâa et leurs apports annuels (Agence du bassin hydraulique Souss Massa Drâa, 2011)

Bassins versants	Apports moyens annuels (Millions de m ³)
Souss	422
Massa	138
Tamraght	25
Tamri	50
Tiznit-Adoudou	8.7
Sidi Ifni	6.15

Les ressources en eaux de surface de la région proviennent donc à 65% du bassin du Souss suivit du bassin de Massa avec 21%. Les ressources en eaux souterraines y sont importantes et permettent la satisfaction de plus de 70 % des besoins de la région. Les différentes nappes

sont : La nappe du Souss ; la nappe de Chtouka ; la nappe de Tiznit, la nappe de Sidi Ifni ; les nappes du Haut et de l'Anti Atlas et les nappes profondes (Agence du bassin hydraulique du Souss Massa Drâa, 2011).

6. Environnement et pollution

La région est exposée à un risque de pénurie en eau malgré les ressources importantes. Selon l'agence du bassin, le niveau de la nappe du Souss aurait baissé de 40m en 20 ans et aurait tendance à continuer. Cela est dû à la sécheresse et à l'usage intensif de l'eau de la plaine dont plus de 90% est pour l'irrigation moderne (Tableau 24).

Tableau 24 : Mode d'utilisation des ressources en eau de la région du Souss Massa Draa (SNAT, Etat des lieux, 2000 cité par Agence du bassin hydraulique du Souss Massa Drâa)

	Quantité d'eau en millions de m ³	% du total
Irrigation traditionnelle	7	1,1
Irrigation moderne par pompage	600	94,2
Alimentation en eau potable	29,6	4,7

L'urbanisation galopante et le climat de la région entraîne une régression de la forêt et une augmentation de la quantité de déchets agricoles suite à l'intensification de l'agriculture. Les cultures sous serres très répandues dans la région sont de très grandes productrices de déchets. Leur production représente un peu plus de 77% de la production nationale de déchets agricoles organiques du Maroc avec plus de 500 000 tonnes/ha/an (Souidi, 2005(b)). La production de déchets d'origine animale est elle aussi très importante et la répartition est très inégale comme le montre le tableau 25.

Tableau 25 : Répartition des déchets d'origine animale par commune dans le Souss massa Drâa (ORMVA/SM, 2009)

commune	fumier (t/an)	Cadavre (nombre)
Belfaa	467	0
Inchaden	0	0
ait aamira	0	0
sidi bibi	693	27
massa et sidi oussay	0	0
ouad essafa	7127	1927
Total quantité de déchets(t/an)	8287	1953

Les rejets liquides industriels s'élèvent à 3.198.000 de millions m³ dans le grand Agadir. Cependant la gestion de ces déchets demeure un grand problème car les productions aussi importantes et aucun plan de gestion des déchets dans la région n'a été encore effectif.

III. Collecte des données de base

Pour la réalisation de cette étude, différentes unités de compostage dans la région du Souss Massa Drâa ont été visitées

1. Enquêtes et observation pour l'évaluation des unités de compostage

Afin de réaliser des enquêtes dans la région du Souss Massa pour le diagnostic des différentes unités de compostage, un questionnaire présenté en annexe 1 a été établi.

Il nous a permis de déterminer l'origine et la nature des matières premières utilisées, les ratios mais aussi l'état de la plate-forme et les moyens mis en place pour la préservation des ressources naturelles comme le sol, l'eau, l'air et aussi le respect des normes internationales.

Neuf compostières nommées A, B, C, D, E, F, G, H, et I ont été visitées et des enquêtes et observations ont été réalisées auprès des différents responsables de ces unités.

2. Prélèvement des échantillons

Durant la visite de ces compostières, des échantillons ont été prélevés au niveau des matières premières destinées au compostage mais aussi au niveau du compost supposé mur. Les prélèvements de compost n'ont pas été effectués au niveau des compostières B et H à cause de l'absence sur l'exploitation de compost mur et de matière première disponible

3. Analyse des échantillons

Les échantillons de matières premières et de compost prélevés sur les sites sont analysés pour déterminer la qualité de ces différents éléments.

3.1. L'humidité

On détermine l'humidité de la matière première à composter et du compost supposé prêt

L'échantillon est pesé puis séché à l'étuve pendant 48h à 105°C. Ensuite il est pesé à nouveau. L'humidité est calculée comme suit (Pétard, 1993) :

$$\%H = [(PF - PS) / PF] * 100$$

Avec :

%H : % d'humidité

PF : poids frais

PS : poids sec

L'on détermine donc aussi le pourcentage de matière sèche.

3.2. Le pH

10g de compost tamisé sont mis dans un bécher et mélangé avec 100ml d'eau distillée. 10min après le mélange, à température ambiante, l'on mesure le pH à l'aide d'un pH mètre.

3.3. La conductivité électrique

Elle permet de déterminer l'importance des sels solubles dans le compost

Pour ce faire, il suffit de prendre 10g de l'échantillon auquel l'on ajoute 50ml d'eau distillée.

On laisse reposer pendant 30 min. après une agitation, on mesure la conductivité électrique à l'aide d'un conductimètre.

3.4. L'azote total

L'azote total est déterminé par la méthode de kjeldahl.

L'azote est minéralisé et réduit sous forme de NH_4^+ en présence de H_2SO_4 à travers une digestion qui dure environ 6 heures à une température élevée. Après, les produits sont soumis à une distillation avec du NaOH. Le liquide recueilli est titré par H_2SO_4 , 1N

3.5. Le Phosphore

La méthode de détermination du phosphore est la colorimétrie. Il s'agit de former un complexe réduit de l'acide ortho phosphorique et de l'acide molybdique. La réduction du phosphore-molybdate s'accompagne d'une coloration bleue mesurée par colorimétrie à une longueur d'onde de 660nm.

3.6. Le potassium

La détermination du potassium est faite grâce au photomètre de flamme automatique.

Les solutions sont soumises à des dilutions allant de 1/5 à 1/25. Les teneurs en potassium sont lues sur le photomètre.

3.7. La matière organique

Pour la détermination de la matière organique des échantillons, la méthode utilisée est celle de la perte au feu, par incinération. Les échantillons sont pesés dans des creusets et placés dans un four à moufle pour la calcination pendant 5h à 550°C au maxi. La perte de poids, après calcination, donne la matière organique. Les échantillons sont ensuite repesés.

La détermination de la teneur en matière organique est faite à l'aide de la formule suivante (centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2003) :

$$\% \text{ M O} = \frac{\text{poids échantillon sec (g)} - \text{poids échantillon incinéré (g)}}{\text{Poids échantillon sec (g)}} \times 100$$

La teneur en carbone est déterminée suivant la formule

$$\% \text{ MO} = \% \text{ Carbone} \times 1,724$$

3.8. Détermination du degré de maturité par chromatographie circulaire

La chromatographie circulaire est basée sur l'absorption et la migration sélective des divers composants chimiques d'une solution de compost. Ainsi, une solution alcaline de compost ou de fraction humique est déposée au centre d'un papier filtre traité à l'Ag NO₃, 5%. La migration est par la suite observée puis interprétée (Mustin, 1987).



**RESULTATS
ET DISCUSSIONS**

I. Valeurs fertilisantes des déchets horticoles et agricoles du Souss Massa Draa

Les résultats des enquêtes nous ont permis de déterminer la quantité de déchets organiques produits dans le Souss Massa Drâa (tableau26). Les productions de déchets d'agrumes s'élèvent à 495418,5tonnes/an en supposant une production de déchets de 15 tonnes/ha (Souidi, 2009) pour une superficie de 33027,9 ha d'agrumes cultivée selon les résultats du recensement général des agrumes mené par le ministère de l'agriculture en 2006.

Tableau 26 : Quantité de déchets de culture produits/ an (ORMVA/SM, 2009)

Cultures	Quantité de déchets produits tonnes/an
Tomates	337 430,874
Bananier	14 617,944
Autres cultures maraichères	54005
Fumier	1953
Total	394 333,874

La valorisation de près de 900 000 tonnes de déchets produits par année dans la région du Souss massa Draa pourrait passer par la production de biogaz pour alimenter la région. En effet, IFSA en 2010 a défini une valeur de 60m³/tonne de matières fraîches concernant la production de biogaz (tableau 27) à partir des déchets organiques des cultures maraichères et du bananier, tandis que Ouhammi et Rherhibla 2010, affirment qu'une tonne de matière fraîche et de fumier d'ovins contribuera à produire 40 m³ de biogaz.

Tableau 27 : potentiel de biogaz par types de déchets dans la région du Souss Massa Drâa (IFSA, 2010)

Nature de déchet	Rendement de biogaz en m ³ /tonne de MF	Potentiel de biogaz total /type de déchets en m ³
Déchets de bananier	60	877 076,64
Déchets des maraichers	60	3 240 300
Déchets de tomates	60	20 245 852,44
Fumier	40	78 120
Dechets d'agrumes	60	29125080
Total du potentiel de biogaz en m3/an		54 166 429,08

Tout en sachant que 1m³ de biogaz contribuerait à produire 9,7KWh d'électricité, les capacités de production d'énergie électrique pour la région du Souss massa à partir des déchets horticoles s'élèvent donc à 525 414 362,076 KWh/an, soit 525,08 GWhs.

Les teneurs en éléments nutritifs des déchets exprimés dans le tableau 28 sont les résultats des analyses effectuées sur les matières premières prélevées lors des enquêtes, mais aussi de la bibliographie.

Tableau 28 : Composition de différents types de déchets (enquêtes et Andriamady, 2001)

Nature des déchets	%MS	N (% MS)	P (% MS)	K (%MS)	Sources
Déchets de bananier	20,5	1,17	0,31	1,8	(Andriamady, 2001)
Déchets des maraichages	63,33	2,38	0,12e	0,5	analyse
Déchets de tomates	88,21	0,7	0,31	3,01	analyse
Fumier	67,83	0,718	0,22	1,14	analyse

-Montage personnel-

Tableau 29 : Evaluation de production totale annuelle en macroéléments des déchets agricoles et horticoles du Souss Massa

Type de déchets	MS totale en tonnes/an	Teneur total en N (tonnes/an)	Teneur total en P (tonnes/an)	Teneur total en K (tonnes/an)
Déchets de bananier	2 996,68	35,06	9,290	53,94
Déchets des maraichers	34 201,37	813,99	42,07	171,01
Déchets de tomates	297 668,02	2 083,68	946,58	8 968,74
Fumier	1 324,80	951,20	2,91	15,22
Total	334 866,07	3 847,93	1 000,85	9 208,91

Le tableau 29 nous permet ainsi de voir les avantages de la valorisation de ces déchets organiques en épandage. En effet, le total de ces déchets constituerait un apport d'environ 4000 tonnes d'engrais azoté par an, 1000 tonnes de phosphore et 9200 tonnes de potassium par an. La valeur économique de ces déchets est déterminée à partir du prix de vente moyen des engrais azotés potassiques et phosphorés sur le marché au Maroc comme le montre le tableau 30.

Tableau 30 : Coût des engrais et des couts totaux des éléments nutritifs contenus dans les déchets de la région du Souss Massa (Moughli, 2000)

Macroéléments	prix moyen des engrais en dh/kg	Coût total des engrais des déchets en dhs
Azote(N)	4,18	16 084 347
Phosphore(P)	4,78	4 784 060
Potassium(K)	4,94	45 461 320
Valeur économique totale		66 329 697

Ainsi, l'utilisation des déchets horticoles pour la fertilisation des terres de la région du Souss Massa Drâa au lieu de l'achat des engrais constituerait un bénéfice de plus 66, millions de dhs par an.

II. Les compostières et le compostage

1. Description

1.1. Environnement des compostières

Suite aux investigations faites dans la région du Souss Massa Drâa, les constats réalisés sont que la majorité des plates formes s'étendent sur 1 ha en général et sont détachées presque toutes des exploitations agricoles. Les sols sont limono-sableux ou sableux comme dans la compostière E. Ces compostières sont en général éloignées des cours d'eau et des habitations sauf celle de A, F et H (Tableau 31). Cette proximité des habitations entraine bien évidemment des nuisances olfactives dont les populations avoisinantes se plaignent. En ce qui concerne les sources d'eau, la présence des compostières dans les alentours pourrait entrainer une contamination des eaux de barrages et de puits qui alimentent les populations par des germes présents dans les déchets.

Tableau 31 : Description de l'environnement des unités de compostage

compostières	superficie totale de l'exploitation(ha)	superficie cultivée (ha)	superficie de la compostière	distance de la source d'eau	distance habitation	type de sol
A	1ha	0	1ha	5m	10m	limono-sableux
B	1ha	0	1ha	+de 500m	50m	limono-sableux
C*	6ha	0	6 ha	+de 500m	+de 500m	limono-sableux
D	4ha	3	0,015ha	+de 500m	+de 500m	limono-sableux
E	220ha	120	1 ha	+de 500m	+de 500m	sablonneux
F	1ha	0	1 ha	500m	25m	limono-sableux
G	1ha	0	1 ha	+de 500m	+de 500m	limono-sableux
H	22ha	22	700m ²	5m	25m	limono-sableux
I	45ha	45ha	600m ²	0m	1,5 km	limono-sableux

*Exp : en expérimentation

A l'exception de la compostière C en expérimentation, aucune des compostières enquêtées n'est imperméabilisée.

1.2. Configuration de la plate forme

La structure des plates formes visitées est plus ou moins variable. Les compostières sont équipées d'aire de stockage des matières premières et aussi du compost mur tandis que l'aire de maturation et l'aire de fermentation sont en général confondues. Cependant en fonction de la disposition des tas, nous avons essayé de les distinguer pour l'établissement des plans des plates formes (Figure 8 et 9).

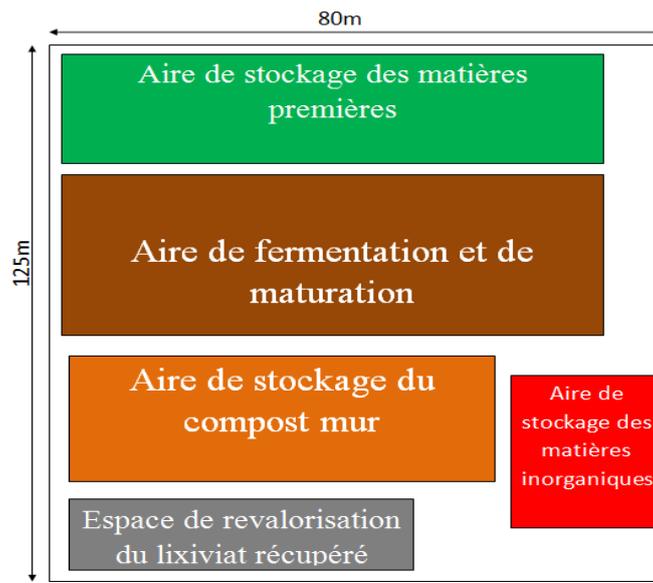


Figure 8 : Plan de la compostière A

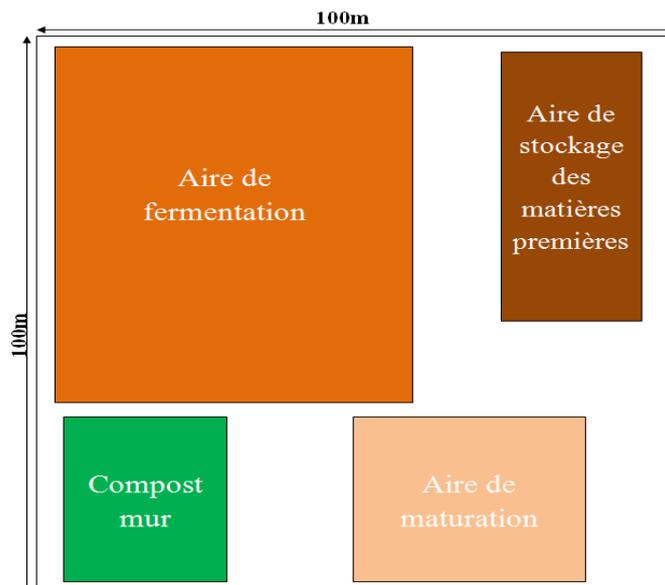


Figure 9 : Plan de la compostière E.

Ces différentes configurations révélées au niveau des compostières peuvent être sources de problèmes au niveau de la qualité des produits. En effet, la disposition aussi proche entre les

tas de compost mur et les tas en fermentation ou même les rejets de tri peut entrainer des mélanges des matières et enfreindre ainsi l'évolution normale du processus de compostage. Par exemple au niveau de la compostière A, nous avons constaté une distance de 5 mètres entre le tas de compost supposé mur et le tas de rejet de tri (Figure 10).



Figure 10 : proximité entre les tas de déchets inorganiques et le compost présumé mur dans la compostière A

Ainsi nous avons remarqué que les tas en fermentation dans la compostière D se trouve presque au milieu des déchets de cultures et rejets de fruits et légumes en putréfaction. Cette proximité pourrait entrainer la présence d'agents phytopathogènes et de nématodes dans le produit final.

2. Mode de gestion du processus de compostage

Le processus de compostage dans les compostières visitées dure entre 1 et 7 mois et la technique adoptée en général est celle des andains retournée de manière mécanique sauf dans le cas de la compostière A ou le premier retournement est manuel et le second est mécanique (Tableau 32). Cependant, dans la compostière I, le compostage se fait par la méthode du compostage en couches superposées.

Les quantités de déchets traités par an vont de 276 à plus de 20800 tonnes par an et sont composées de déchets de tomates et autres légumes, de fumier traité soit avec du grignon d'olives ou seule comme dans la compostière E. Le fumier et le grignon d'olives sont achetés sur le marché local et dans les usines de Marrakech tandis que les déchets de tomates proviennent des surfaces cultivées de tomates.

2.1. Les ratios de mélange

Dans les compostières D et F, les déchets traités sont en majorité des déchets de tomates pour la compostière F mais aussi des déchets de certains fruits comme les pastèques, les poivrons dans la compostière D. Sachant qu'en général le rapport C/N des déchets de tomates est élevé, la durée du processus de compostage est donc plus importante.

Le compostage du fumier dans la compostière E est efficace car le rapport C/N est déjà proche de l'optimum. Le mélange du fumier à plus de 60% avec du grignons d'olives est réalisé dans les autres exploitations.

2.2. La phase de fermentation

La durée de fermentation varie entre 1 et 4 mois et est marquée par 4 retournements en moyenne quelque soit la durée de compostage et la quantité de matière à traiter. Le suivi des paramètres qui sont la température et l'humidité n'est pas régulier mais un apport de levures est fait pour améliorer la décomposition des matières.

2.3. La phase de maturation

À l'exception de la compostière F où cette phase dure 45 jours environ, la phase de maturation est quasi inexistante dans les compostières. Le compost est donc utilisé presque juste après les phases de fermentation.

2.4. L'équipement

La disponibilité de matériel pour la réalisation du compostage est variable selon les compostières. En effet, les compostières F, D et B sont dotées de broyeurs pour les déchets de tomates. Le retournement dans ces compostières et la compostière A est effectué à l'aide d'une tractopelle loué à 250 dhs/heure tandis que la compostière E dispose de sa propre tractopelle. Le retournement au niveau des compostières H et I est fait manuellement.

Tableau 32 : Mode de gestion du processus de compostage

paramètres Compostières	durée du processus	quantité de déchet traité/an	nature	origine	cout (déchet+ transport)	durée de stockage	ratio dans le mélange	dimension aire fermentation	durée de fermentation	fréquence de retournement	hauteur du tas	largeur des tas	durée de maturation
A	2mois	7000t/an	fumier	Marché locale	430dh/tonne	0jours	50%	2500m ²	2mois	2fois	1,5m	2m	-
			grignons d'olives	usine Marrakech	0,2dh/kg		50%						
B (exp)*	3mois	2160t/an	déchets de tomate	54ha de tomates	0	0	100%	-	-	4	2m	2m	-
C (exp)*	3mois	-	fumier ovin	marché local et Béni Mellal	500dhs/tonne		33%	100m ²	-	-	2m	5m	-
			fumier bovin				33%						
			grignons d'olives	Usine Marakech	0,2dh/kg		33%						
D	3 à 7mois	20880t/an	Fruit feuilles tiges	exploitation 240ha	0	2mois	100%	300m ²	4mois	variable	3m	3m	-
E	2mois	2400t/an	fumier ovin	Marché locale	1000dhs/voyage	0	100%	0,5ha	2mois	4	2,5m	2m	-
F	5mois	4698T/an	tige feuille de tomate	70ha	0	Indéfini	30% Feuilles 70% tiges 2% fruits	0,5ha	4 mois	4	4m	4m	45jours
H	1mois	744T/an	Fumier (ovin bovin)	Marché locale	430dhs/tonnes	3jours	85%	210m ²	1mois	4	1,6m	3m	-
			Tourteau d'olives	marrakech	0,25dh/kg		15%						
I	1mois	276T/an	Fumier ovin	Marché locale	430dhs/tonnes	3jours	66%	400m ²	1mois	4	1,5m	2,5m	0
			Tourteau d'olives	marrakech	0,35dh/kg		30%						

Exp : expérimentation

3. Coût de fonctionnement et rentabilité de l'activité de compostage

Dans le reste des paragraphes, les compostières B et C ne seront pas évoquées car ce sont des compostières en expérimentation et à leur première campagne.

Le coût de fonctionnement de l'activité de compostage dans les compostières concerne en majorité les salaires et l'énergie pour l'utilisation des machines ainsi que l'approvisionnement en matières premières dans le cas où celles-ci proviennent du marché. Ainsi les coûts de fonctionnement vont d'un peu de moins de 200 000 dhs soit 42,5dhs/tonne à près de 2 500 000 dhs soit 357,14dh/tonne (Figure 11). Les coûts élevés sont dus à l'achat de la matière première sur le marché.

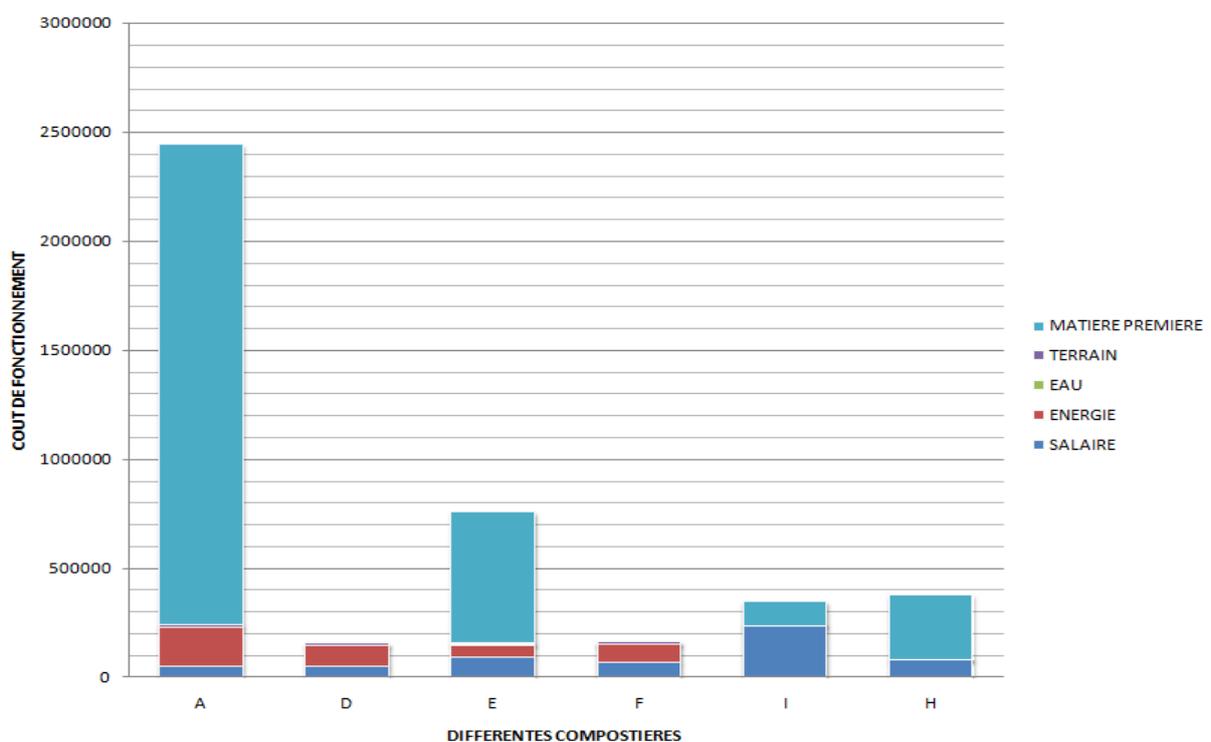


Figure 11 : Coût de fonctionnement des compostières

Dans les compostières H et I, où le retournement est manuel, le coût de la main d'œuvre est assez important et s'élève à respectivement 79200 et 237160 dhs. Un retournement mécanique sera bénéfique surtout dans le cas de la compostière I.

La rentabilité de cette activité pour chaque compostière pourra se voir à travers les différents modes d'utilisation et valorisation. En effet, comme l'indique le tableau 33, le compost produit est en général épandu sur les terres cultivées des domaines tandis que le compost produit dans la compostière A est vendu à 0,65 dhs/kg.

Tableau 33 : Mode de valorisation du compost produit

compostières	A	D	E	F	H	I
Production en tonnes /an	4500	6000	1800	1050	400	140
Vente	Oui	non	non	non	non	non
Prix	0.65dhs/kg	-	-	-	-	-
épandage	-	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Quantité de compost épandus en tonnes /ha	-	35	24	35	35	35
Superficie considérée en ha	-	240	120	70	22	45
Superficie couverte par la production de compost en ha	-	171	75	30	11,43	4
% de superficie couverte par rapport a la superficie totale		71,25%	62,5%	42,85%	52,048 %	8,88%

Il est important de préciser que les superficies considérées représentent les superficies cultivées produisant les déchets traités dans les compostières. Dans le cas des compostières E, H et I ces superficies représentent les superficies cultivées dans le domaine ou se trouve la compostière. L'on se rend bien compte qu'il y a un grand déficit de la production de compost par rapport aux surfaces minimum nécessitant des apports de compost afin de restituer la matière organique des sols. Dans le cas de la compostière A, le prix de vente par an s'élève à 2 925 000 dhs. Ce qui constitue un bénéfice net de 523 325 dhs/an. Ce bénéfice pourra être revu à la hausse d'autant plus que la compostière effectue un recyclage des lixiviats en liquide fertilisant pour le sol.

4. Analyse des matières premières et du compost produit

4.1. Matières premières

4.1.1. Matières sèche et C/N

Les humidités vont de 11 à 36%. La faible humidité des tiges et feuilles de tomates est dûe à leur exposition prolongée à l'air libre avant la mise en compostage. Aussi, ces humidités se révèlent comme bien inférieures à la recommandation de la FAO en 2005 qui indique un pourcentage d'humidité allant de 50 à 60 % au démarrage (Tableau 34). En ce qui concerne le C/N, les matières présentent une très grande variabilité. Les matières premières de la compostière F sont constituées de plus de 70% de tiges de tomates et présentent des C/N très

élevés, cela explique et allonge considérablement la durée du processus qui est de 5 mois, tandis que le C/N des autres matières premières se révèlent très faibles.

Tableau 34 : Humidité et C/N des matières premières

compostières	Nature des matières premières	Humidité %	C/N
A	Grignons d'olives et fumier	49	16,11
D	Fruit feuilles de maraichage	36,66	19, 13
E	Fumier d'ovins	32,17	19,83
F	Tiges et feuilles de tomates	11,79	71,77
H	Fumier et grignons d'olives	28	22,62
I	Fumier et grignons d'olives	28	22,04

Un essai d'optimisation des mélanges dans la compostière F en apportant du fumier au mélange, à l'aide des formules énoncées par Souidi (2005(a)) nous permettent de proposer un apport de 6,16 tonnes/an du fumier d'ovins vendu dans la région. Cet apport permettra d'atteindre facilement un rapport C/N de 25 et ainsi accélérer de manière considérable le processus.

4.2. Compost

Les analyses du produit de la compostière H n'ont pas été faites a cause de l'absence de compost prêt

4.2.1. Humidité, pH et conductivité

Les composts analysés présentent une humidité qui va de 30 à 40% et un pH plutôt neutre allant de 7,75 à 8,96. Les mesures de la conductivité révèlent des valeurs allant de 0,681 à 3,53. Ces valeurs sont conformes aux valeurs limites recommandées par Souidi (2005(a)).

Tableau 35 : pH, Humidité et conductivité des échantillons de composts

	humidité%	Conductivité mS /cm	pH
Compost de A	38,34	3,53	7,63
Compost de D	36,67	3,37	8,12
Compost de E	36,22	1,23	8,96
Compost de F	39,54	2,88	7,75
Compost de G	31,67	0,68	8,04
Compost de I	34	3,65	8,6

4.2.1. Rapport C/N et éléments fertilisants

Le tableau 36 nous révèle que le C/N des différents échantillons de compost est compris entre 8,63 et 24,85. Les composts ayant des rapports C/N appréciables sont ceux des compostières G et D avec des valeurs respectives de 14,79 et 12 tandis que les composts des compostières E, I et F ont des valeurs trop élevées, supérieures aux valeurs limites tandis que le compost de la compostière A a un rapport C/N trop faible. En ce qui concerne les éléments nutritifs, à partir des échantillons prélevés, on peut déduire en moyenne pour 100g de compost 0,958g de potassium, 0,5 g de phosphore et 0,82 g d'azote.

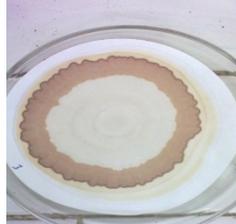
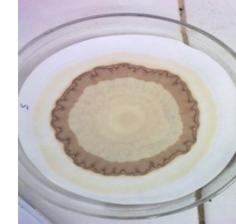
Tableau 36 : C/N et teneurs en N, P et K des échantillons de composts en %

	K%	P%	N total%	C/N
compost de A	1,244	1,282	1,645	8,63
compost de D	1,350	0,290	0,875	12,00
compost de E	1,028	0,259	0,670	24,85
compost de F	0,977	0,425	0,509	20,98
compost de G	0,192	0,295	0,400	14,79
Compost de I	2,21	2,61	1,25	23,48

4.2.2. Degré de maturité du compost

Ce test de maturité nous a permis d'apprécier le degré de maturité des différents composts. Il a été effectué sur 5 échantillons de compost prélevés dans la région. Ainsi, sur les 5 composts testés un seul a présenté un degré de maturité évolué tandis que les autres composts sont considérés comme pas mur (Tableau 37)

Tableau 37 : Résultats du test de chromatographie sur les échantillons de composts

				
chromatigramme1 compostière G	chromatigramme 2 compostière E	chromatigramme 3 compostière F	chromatigramme 4 compostière D	chromatigramme 5 compostière A

Ce manque de maturité représente un grand problème pour les cultures pour lesquelles le compost est épandu car celui-ci est phytotoxique. En effet, l'épandage de composts immatures pourrait causer une asphyxie des racines en raison de la forte consommation d'oxygène des microorganismes. A cela s'ajoute la forte probabilité de persistance dans le produit épandu de germes phytopathogènes.

5. Impact des compostières sur l'environnement

5.1. L'air

Les impacts sur les pollutions de l'air au niveau des compostières commencent depuis leur transport. En effet, transportés dans des camions ou des remorques sur de longues distances, ces déchets libèrent dans l'air tous types d'éléments. Ce sont généralement des grains de pollens, des germes phytopathogènes mais aussi des odeurs. A leur dépôt, et pendant le processus de compostage, ces déchets produisant des odeurs dont se plaint le voisinage ne sont pas protégés. Ils sont exposés à l'air libre (Figure 12) et pourrait dégager ainsi suite aux activités biologiques des gaz comme le méthane et le CO₂. Au cours du compostage, la libération de bio-aérosols (Harrison, 2007) peut être importante. Ce sont en fait des poussières organiques contenant des bactéries mortes ou vivantes, des champignons, des grains de pollen, et des toxines. Toutes ces substances libérées dans l'air peuvent être sources de maladies.



Figure 12 : Tas de déchets de cultures exposés à l'air libre



Figure 13 : Tas de déchets en fermentation exposé à l'air libre

Il est important de rappeler que la réduction des décharges grâce au compostage dans la région permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre

5.2. L'eau

La rare imperméabilisation des compostières sera une grande source de pollution des eaux souterraines. En effet, seule la compostière C bénéficie d'une imperméabilisation (Figure 13) grâce à des plastiques étalés sur le sol. Dans les autres compostières, les matières sont posées à même le sol et les systèmes de récupération des lixiviats sont plutôt archaïques. Ainsi, pour les compostières D et F, la présence de pente au sein de l'exploitation entraîne l'accumulation des lixiviats au centre, à côté des déchets et des tas en fermentation. Le liquide est récupéré pour humidifier les tas à l'aide d'une pompe à eau.



Figure 14 : Imperméabilisation de la compostière C

Au niveau de la compostière A, c'est un tout autre système de collecte qui est adopté. En plus de l'absence d'étanchéité de la compostière, les lixiviats sont collectés et accumulés dans des fosses de 30 cm de profondeur entre les andains (figure 15). L'accumulation de lixiviats au sein de l'exploitation est très importante. Cela représente un grand danger pour les eaux souterraines. Il en est de même pour les compostières D et F.



Figure 15 : Fosses de collecte des lixiviats dans la compostière A



Figure 16 : Bassin de récupération de lixiviats dans la compostière D



Figure 17 : Lixiviats stagnants sur le sol dans la compostière A

Des sources d'eau et des puits situés à 500 m de la compostière F et à 5 m de la compostière A peuvent être pollués et donc représenter un danger pour les populations riveraines.

5.3. Le sol

Les teneurs en éléments nutritifs des déchets et du compost constituent un enrichissement des sols où ce compost est épandu et une augmentation de leur fertilité. Il est important de noter que les sols de la région du Souss Massa Drâa ont une alcalinité allant de 7,8 à 9. Ce degré d'alcalinité entraîne des difficultés dans l'absorption des éléments nutritifs dans le sol. La conductivité plutôt élevée du compost épandu permet de baisser le pH des sols mais aussi assurer une disponibilité en éléments nutritifs pour les plantes.

6. récapitulatif du diagnostic

Le diagnostic des unités de compostage nous a permis d'établir tableau récapitulatif de tous les critères d'évaluation retenus (Tableau 38)

Tableau 38 : Tableau récapitulatif des critères de diagnostic des unités de compostage du Souss Massa

compostières	impact sur l'environnement	maitrise du processus	mécanisation	qualité du compost
A	++++	+++	+	+
D	++++	+++	++++	+
E	++	++++	++	+
F	++++	+++	++++	+
G	+++	+++	++++	+
H	+	+++	-	
I	+	+++	-	+

- : absence ; + : faiblement élevé ; ++ : moyennement élevé ; +++ : élevé ; ++++ : très élevée.

Ainsi, nous voyons que l'activité de compostage présente de grand effet positif pour la région surtout pour la bonne gestion et la gestion des déchets produits. Cependant il existe des lacunes dans la gestion du processus, la mécanisation et surtout la qualité du compost produit.

L'on remarque cependant une prise de conscience progressive face aux avantages environnementaux et agronomiques de cette méthode de gestion qu'est le compostage mais aussi un désir de la part des entreprises agricoles de répondre aux exigences des organismes de certification, les agriculteurs essaient de gérer du mieux qu'ils peuvent leur déchets.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left side and a horizontal strip at the top and bottom. The corners are rounded with a scroll-like flourish.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La production de déchets agricoles et horticoles dans la région du Souss Massa Drâa est très importante s'élevant à près de 400 000 T/an, ce qui pose des problèmes de traitement.

Pourtant, la valorisation de tous les déchets organiques agricoles produits dans la région du Souss Massa Drâa constituerait un gain énergétique potentiel de près 237 GWhs et une économie en achat d'engrais minéraux de plus de 66 300 000 dhs/an. Ainsi, bien gérés, ces déchets constitueront une ressource renouvelable importante pour la région.

Le compost a, en effet, des effets bénéfiques sur la fertilité des sols mais aussi sur la nutrition des plantes. Cependant, l'absence de réglementation précise sur le compost et les compostières à l'échelle du Maroc entraîne une anarchie dans le dimensionnement et l'emplacement des compostières mais aussi des problèmes de maîtrise et de suivi du processus et de qualité du compost produit. La maturité n'étant pas atteinte, les composts présentent de grands risques de phytotoxicité pour les cultures installées dans la région. Le fonctionnement des unités de compostage pose des problèmes de pollution de l'air et de l'eau, mais les effets sur le sol ne sont pas encore précis car dépendant de la présence dans ces déchets de résidus de pesticides et de métaux lourds ;

Sur la base de ces conclusions, nous recommandons les points suivants :

❖ à l'échelle des compostières :

- ✓ employer et former une main d'œuvre qualifiée dans la technologie du compostage
- ✓ effectuer une imperméabilisation des plates formes
- ✓ utilisation des logiciels d'optimisation des mélanges des matières premières comme OptiCompost.

❖ à l'échelle de la région :

- ✓ Une réglementation sur l'installation des compostières et le suivi du processus afin d'harmoniser les techniques
- ✓ Formation de la main-d'œuvre sur les différentes méthodes de compostage mais aussi l'utilisation du matériel et la maîtrise des différents paramètres
- ✓ Sensibiliser les agriculteurs sur l'avantage du compost pour le sol et les bénéfices de l'épandage du compost par rapport à l'achat des engrais minéraux

- ✓ Organiser la filière du compostage depuis l'achat des matières premières jusqu'à l'écoulement afin d'harmoniser les prix
- ✓ Effectuer un bilan hydrique et minéral sur des sols amendés avec le compost et le comparer avec des témoins positifs et négatifs pour détecter avec précision les gains économiques en engrais et en ressources hydriques
- ✓ Faire le suivi des germes phytopathogènes durant le processus de compostage
- ✓ Diagnostiquer d'avantage les points d'eau proches de ces unités de compostage pour révéler le degré de pollution des eaux souterraines

Bibliographie

Abrecht, R. (2007). Co-compostage des boues de station d'épuration et déchets verts: nouvelle methodology de suivie de transformation de la matière organique. Doctorat en Geosciences de l'environnement Aix – Marseille Université, France

ADEME. (2000). La reglementation française sur la valorisation agronomique des dechets organiques organisation et points principaux. http://www.ademe.fr/bretagne/telechargement/reglementation_DO.doc

AFNOR. (2006). Amendements organiques dénominations, spéciations et marquages.

agence du bassin hydraulique du Souss Massa Drâa (2011) <http://www.abhsm.ma/spip.php?rubrique28>

Andriamady, T. (2001). expérimentation agronomique basée sur la fabrication de Lombricompost en vue de l'amélioration de la fertilité des sols. Cas du CDIA-Beforona.

Agence de promotion des investissements agricoles. Consulté le mai 2011, sur <http://www.apia.com.tn/pdf/compostage.pdf>

Ballerini, D. (2006). Les biocarburants: état des lieux, perspectives et enjeux du développement. Editions TECHNIP.

Banout, J. (2005). The composting program and it potentiel use in a prediction of a correct compost mixture. agriculture tropica and subtropica .agricultura tropica et subtropica. Volume 38

Boti, R. (2001). valorisation du compost des ordures ménagères: valeur fertilisante et impacts sur la qualité du sol et du produit agricole. Mémoire de fin d'étude Institut agronomique et Vétérinaire HASSAN II. Rabat.

Bron, G., Duclaud, É., & Toussaint, J.-P. (2004). L'entreprise horticole: Approche globale et environnementale-Diagnostic. Educagri editions.

Chambre de l'agriculture de Bourgogne; Confédération des association viticoles de Bourgogne. (2006). guide technique Viticulture durable de Bourgogne.

Chauvin, M. A. (2004). La reglementation française sur la valorisation agronomique des dechets organiques organisation et points principaux. http://www.ademe.fr/bretagne/telechargement/reglementation_DO.doc

Centre for Education and Documentation. (2010, aout). Changement climatique et agriculture en Inde : pistes d'adaptation. Consulté le juillet 2011, sur <http://base.d-ph.info/fr/fiches/dph/fiche-dph-8761.html>

Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec et ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec, détermination de la matière organique par

incinération : méthode de perte de feu (paf), ma. 1010 – paf 1.0, ministère de l'environnement du Québec, 2003, 9 p

Cooperband, L. (2002). The art and science of composting: a resource for farmers and compost producers. Center for Integrated Agricultural Systems

CRI-Agadir (2010). Ressources hydriques, rationalisation et gestion durable. Centre régional d'investissement Souss Massa Drâa

Davet, P. (1996). Vie microbienne du sol et production végétale. Paris: Inra éditions.

Deblay, S. (2006). Fertilisation et amendements. Educagri éditions.

Devisscher, S (1997). propriété et valorisation du compost. Consulté le Mars 11, 2011, sur université dde picardie Jules Vernes: <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/duce/compost1.htm>

Diaz, L., Bertoldi, M. D., & Bidlingmaier, W. (2007). compost science and technologie. Elsevier.Waste management series. volume 8

Duval, J. (1993). Méthodes d'évaluation de la maturité du compost. Projet pour uen agriculture biologique

EUROPALLIANCE CONSULTING (2010). Monographie de la région du Souss Massa Drâa. Rapport

FAO. (2005). Méthode de compostage au niveau de l'exploitation agricole. Rome.

Feller, C., & Ganry, F. (1982). Décomposition et humidification des résidus végétaux dans un agro-système tropical. Agronomie tropicale , 262-269.

Guet, G. (2003). Mémento d'agriculture biologique: guide pratique à usage professionnel. Paris: Agridecisions.

Harrison, E. (2007). health impacts of composting air emissions. Biocycle , 44-50.

Hertig, J.-A., & Fallot, J.-M. (2006). Études d'impact sur l'environnement. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes Vol. 23.

Hofmann, N. (2008). Profil géographique de la production de fumier de bétail au Canada, 2006. EnviroStats , 13-17.

Houot, S. (2009). Compostage et valorisation par l'agriculture des déchets urbains. Innovations Agronomiques , pp. 69-81.

IFAS. (2010). Etude sur les potentiels de biomasse pour. Essaouira.Rapport

INGESAHEL. (1998). etude de faisabilité d'une valorisation des residus agricoles et agro-industruels comme combustibles domestiques au Sénégal.

- Insam, H., Franke-Whittle, & Goberna, M. (2009). *Microbes at Work: From Wastes to Resources*. Springer.
- Insam, H., Riddech, N., & Klammer, S. (2002). *Microbiology of composting* .
- Institut Francais de l'Environnement. (2004). *Les déchets de l'agriculture en France essai de quantification*.
- Jouali, M. (2005). *Déchets verts de la ville de Rabat: situation actuelle et possibilité de valorisation par compostage. Mémoire de fin d'étude Institut agronomique et Vétérinaire HASSAN II. Rabat*.
- Kassaoui, H., Lebkiri, M., Lebkiri, A., Rifi, E. H., Badoc, A., & Douira, A. (2009). *Bioaccumulation des métaux lourds chez la laitue et la tomate fertilisées par les boues d'une station d'épuration. Bulletin de société de Pharmacie de Bordeaux , pp. 77-92*.
- Leclerc, B. (2001). *Guide des matières organiques: Volume 2*. Paris: Institut technique de l'agriculture biologique.
- Leclerc, B. (2000). *le compostage en agriculture biologique. Echo-MO , pp. 3-5*.
- Lemièrre, C. (2008). *Composter le fumier de cheval, c'est possible. reussir-l'agriculteur normand , 4*.
- Marchaim, U. (1994). *Les procédés de biogaz pour le développement de technologies durables. bulletin des services agricoles de la FAO , p. 120*.
- Marinez, J. (2008). *Cohabiter avec la production porcine: Mythes et Réalités. forum sur la cohabitation en production porcine, (pp. 7-12). Drummondville*.
- Martin, H. (2005). *Introduction au compostage agricole. Fiche technique, Ministère de l'agriculture et de l'alimentation. Ontario*.
- Martin, H. (2005). *Le compostage du fumier : une stratégie pour réduire les populations d'agents pathogènes. Fiche technique, Ministère de l'agriculture. Ontario*.
- Ministère de l'agriculture (2006). *Recensement des agrumes.Rapport*
- Moughli, L. (2000). *les engrais minéraux. transfert de technologie en agriculture .*
- Mustin, M. (1987). *le compost, gestion de la matière organique. Edition Francois dubusc-paris*
- Muzzolini, F. (2005). *production alimentaire et environnement- réglementation evaluation organisation valorisation - comment s'y prendre. RIA groupe France Agricole*.
- Office régionale de la mise en valeur agricole du Souss Massa Agadir. (2009). *Etude de la gestion des déchets agricoles dans la zone d'action de l'ORMVA/SM comprise à l'intérieur de la province de Chtouka Ait Baha.Rapport*

OMRVA Souss Massa, DPA d'Agadir, DPA de Tiznit, ORMVA Ouarzazate. (2008) Plan agricole régionale du Souss Massa Drâa. Diagnostic et analyse de la situation actuelle. Rapport

OCDE. (2001)(a). Indicateurs Environnementaux Pour L'agriculture: Methodes Et Resultats.Rapport

OCDE. (2001)(b). Les transports des dechets table ronde.Centre de recherches économiques. Rapport

Ouhammi, M., & Rheribla, S. (2010). Gestion des fientes de volailles: analyses de la situation actuelle au Maroc et élaboration d'une ebauche de projet de production du biogaz et sa valorisation dans une unité pilote de poules pondeuses. Memoire de fin d'etudes. Institut agronomique et vétérinaire HASSAN II Rabat.

Pellecuer, B. (2007). Énergies renouvelables et agriculture: perspectives et solutions pratiques. Paris: France Agricole.

Pétard, J. (1993). Les méthodes d'analyse tome 1 analyses de sols. L'institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération centre de Nouméa

Pousset, J. (2008). Agriculture naturelle, répondre aux nouveaux défis. Agridécisions.

Rafrafi, M. (2006). Design and application of an innovative composting unit for the effective treatment of sluge and other biodégradable organique waste in Morocco. Rapport

Ragot, M. (2001). Conversion à l'agriculture biologique: le cas de la production laitière. Educagri.

Raven, p. (2003). Biologie végétale. de Boeck.

Rheribla, S.& Ouhammi M. (2010). gestion des fientes de volailles: analyse de la situation actuelle au Maroc et élaboration d'une ébauche de projet de compostage et de valorisation du compost dans une unité pilote de poules pondeuses.Memoire de fin d'etudes. Institut agronomique et vétérinaire HASSAN II Rabat.

Rivière, L.-M. (1996). La plante dans la ville.Institut national de la recherche agronomique Angers.

Smith,O., Moustier P., Mougeot L.et Fall A.(2004). Développement durable de l'agriculture urbaine en Afrique francophone Enjeux, Concept et Méthodes.CIRAD et CRDI

Soudi, B. (2005)(a). Le compostage de dechets sous serres et de fumier. transfert de technologie en agriculture .

Soudi, B. (2005)(b). Les déchets de cultures sous serre : position du problème et option de gestion. Rapport

Soudi, B. (2009) (c). Etude de la mise en place d'une unité ilote de compostage et valorisation du compost des déchets agricoles et d'élevage dans le polygone pédagogique de l'ITSA de Zraib

Tercé, M. (2003). les dossiers de l'environnement de l'INRA n° 25. Paris.

Tou, I. Igoud, S. et Touz, A.(2001). production de biométhane a partir de déjections animales. Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse , pp. 103-108.

TTZ BREMERHAVEN. (2011). Valorisation des Déchets dans le secteur agroalimentaire au Maghreb. Rapport

Villenave, C.(1998). Influence du travail du sol et de l'apport de compost sur les peuplements de nématodes phytoparasites. Congrès Mondial de la Science du Sol : Actes. monpellier.

Zeddou, N. (2008) gestion des déchets verts urbains: dimensionnement d'une unite pilote de compostage. Mémoire de fin d'études. Institut agronomique et vétérinaire HASSAN II Rabat.

A decorative horizontal border with a scroll-like appearance, featuring a vertical bar on the left and rounded ends on the right.

Annexes

Annexe 1 : Fiche d'enquête dans les unités de compostage

1-Identification :

- Nom et prénom de l'exploitant :.....

-Technique de compostage :.....

2-exploitation

-Superficie totale (ha) :.....

-Superficie totale cultivée (ha) :.....

-Superficie de la plate forme (ha) :.....

- distance des habitations.....

-distance des cours d'eau.....

-distance des routes.....

-type de sol

-Quantité de déchet reçue/mois.....

-cout du terrain.....

3- matières premières

déchets	Origine	nature	Cout des déchets	Distance	Durée de stockage	Mode de transport	Cout de transport	Taille des matières premières	Ratios dans le mélange

Proportion dans la matière première de compostage :

Quantité totale de matière première mise en compostage/unité de temps.....

Nature de déchets	Proportion dans le mélange	saison

4- la plate forme de compostage:

Imperméabilisation de la plate forme oui non

Présence d'odeurs oui non

Pente et relief.....

Aire de réception, tri et contrôle : oui non

Dimensions :.....

Capacité :.....

Temps de séjours :.....

Mode de stockage :.....

Méthode de tri :.....

Imperméabilisation : oui non

Méthode d'imperméabilisation :.....

Cout de l'imperméabilisation :.....

Nombre d'heures de travail :.....

Machines utilisées.....

Energie utilisée.....

Cout de l'énergie utilisée.....

Aire de stockage des matières premières : oui non

Dimensions :.....

Capacité :.....

Temps de séjours des matières premières :.....

Mode de stockage :.....

Cout de l'énergie utilisée.....

Aire maturation: oui non

Dimensions :.....

Capacité :.....

Temps de séjours :.....

Mode de stockage :.....

Imperméabilisation : oui non

Méthode d'imperméabilisation :.....

Cout de l'imperméabilisation :.....

Nombre d'heures de travail :.....

Machines utilisées.....

Energie utilisée.....

Cout de l'énergie utilisée.....

Aire de criblage :

Dimensions :.....

Capacité :.....

Temps de séjours :.....

Imperméabilisation : oui non

Méthode d'imperméabilisation :.....

Cout de l'imperméabilisation :.....

Nombre d'heures de travail :.....

Machines utilisées.....

Energie utilisée.....

Cout de l'énergie utilisée.....

Bassin de récupération des lixiviats : oui non

Capacité :.....

Temps de séjours :.....

Mode d'élimination des lixiviats.....
Machines utilisées.....
Energie utilisée.....
Cout de l'énergie utilisée.....

6- fonctionnement

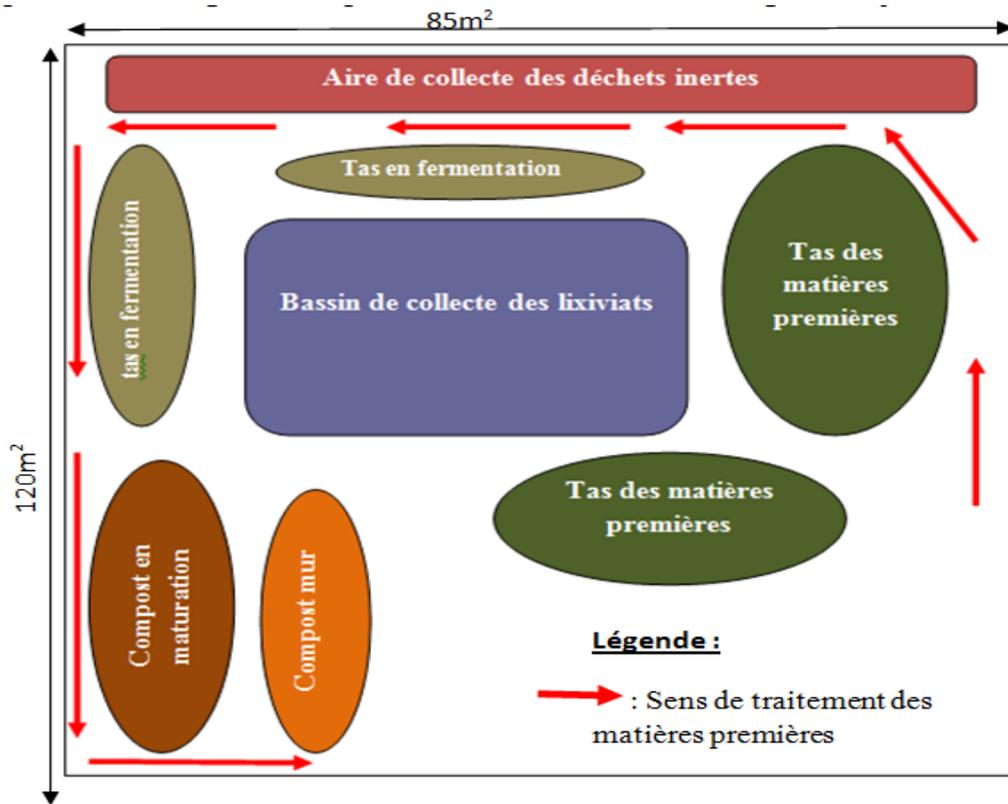
Quantité d'eau utilisé/mois..... Cout :.....
Nombre de main d'œuvre :..... salaire individuel.....
Prix de vente du compost.....
Lieu de stockage du compost.....
Mode de réutilisation du compost :
Destination du compost.....
Usage du compost.....
Valorisation du compost.....

7-Certification

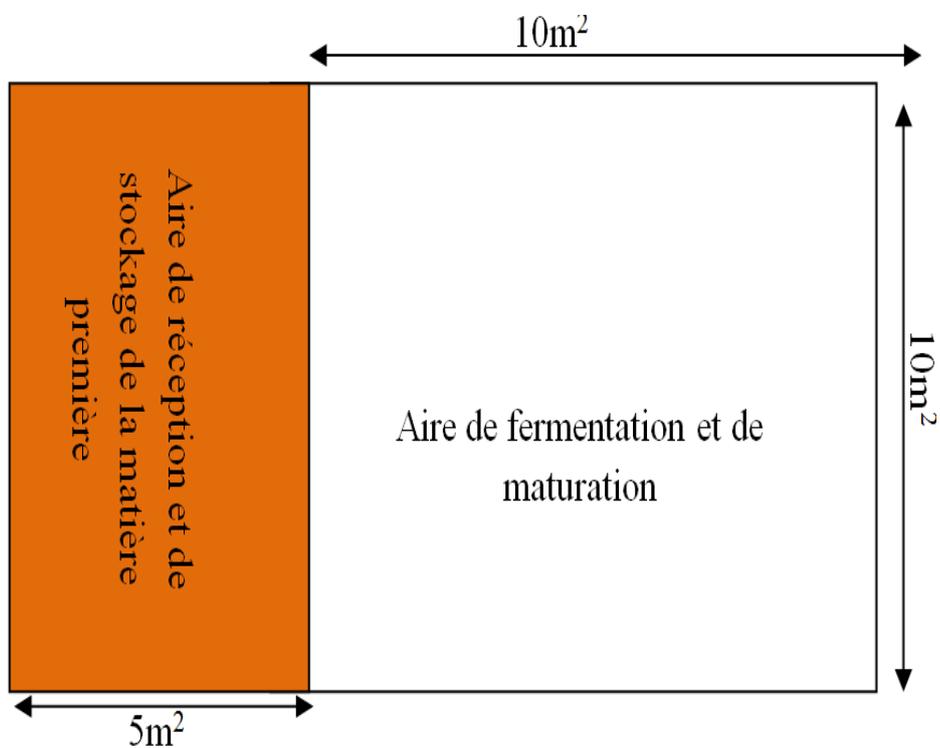
Exploitation certifiée :

Quelle certification ?.....
Date de certification ?.....
Comment avez-vous pris connaissance de cette certification ?.....
Organisme de certification ?..... Coût ?.....
Investissements réalisés ?.....
Comment gérer vous le volet environnemental ?.....
Quelles sont les difficultés rencontrées dans la production du Compost.....

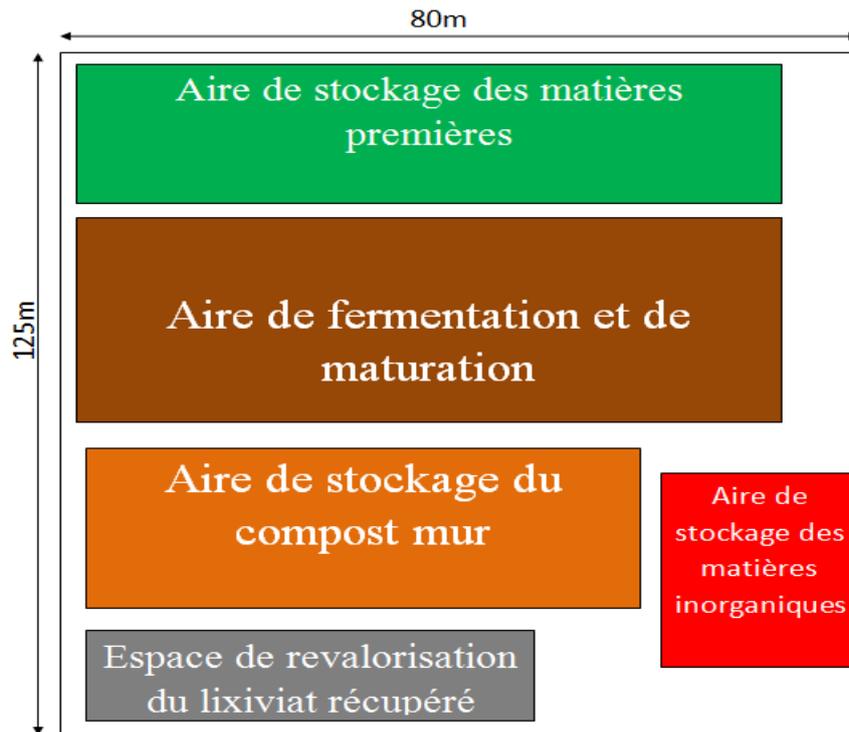
Annexe 2 : plan des compostières



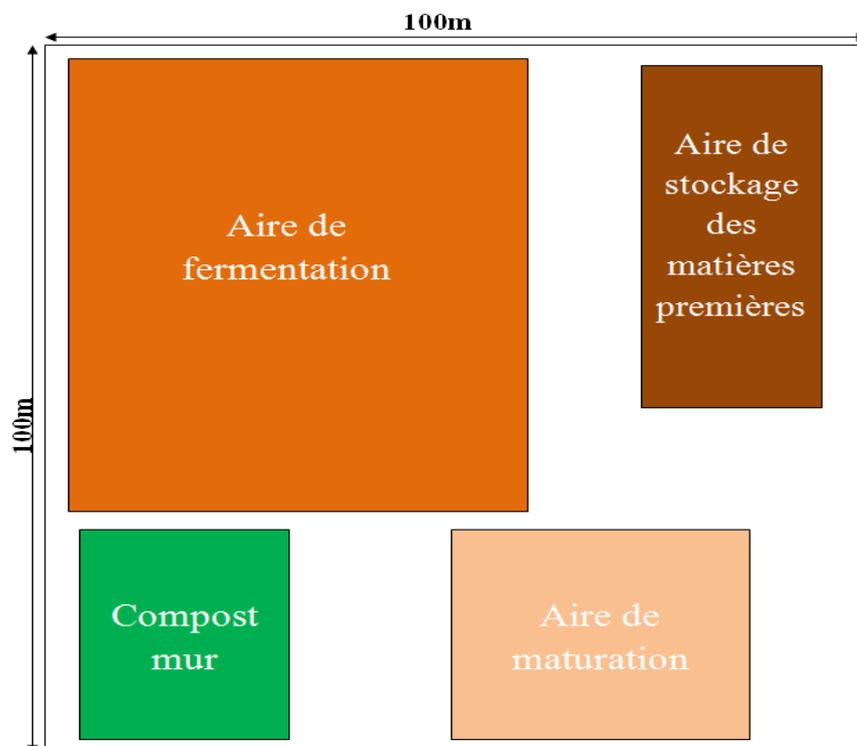
Compostière de Azura 10



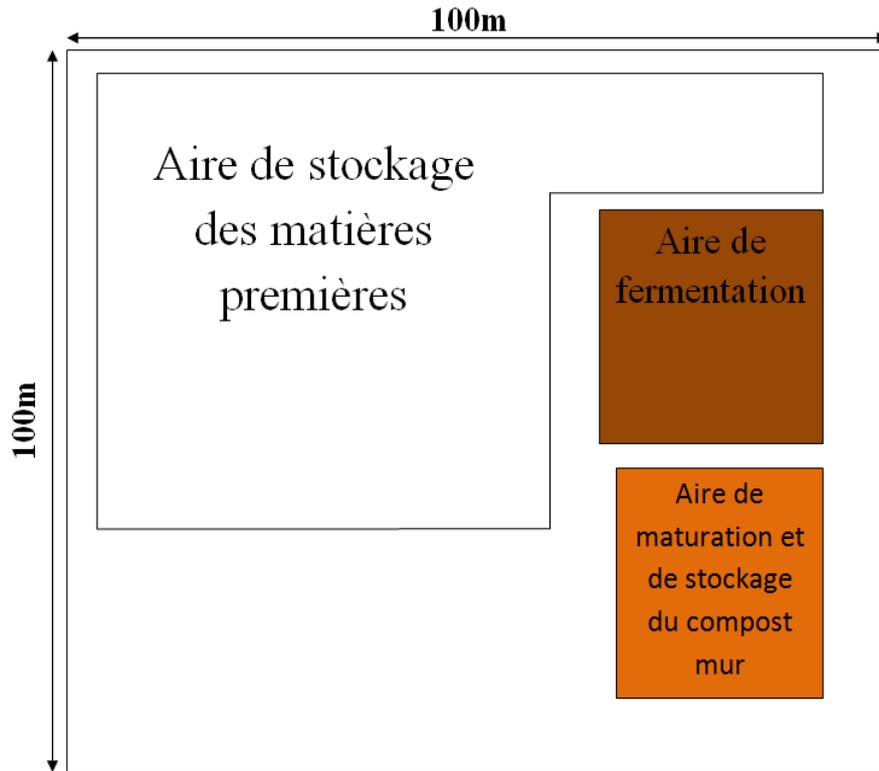
Compostière Caliprim 16



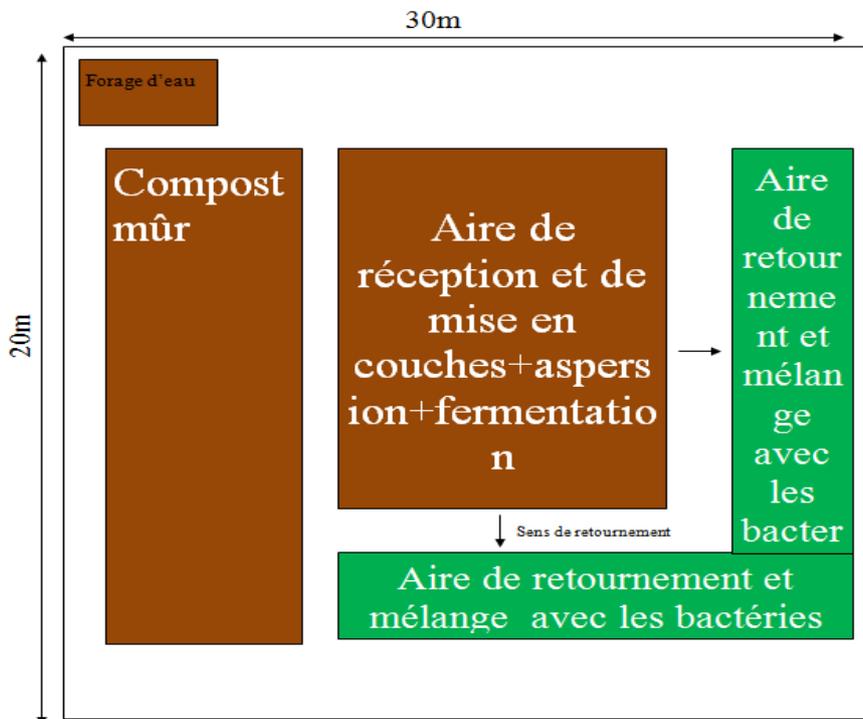
Compostière de Rosaflore



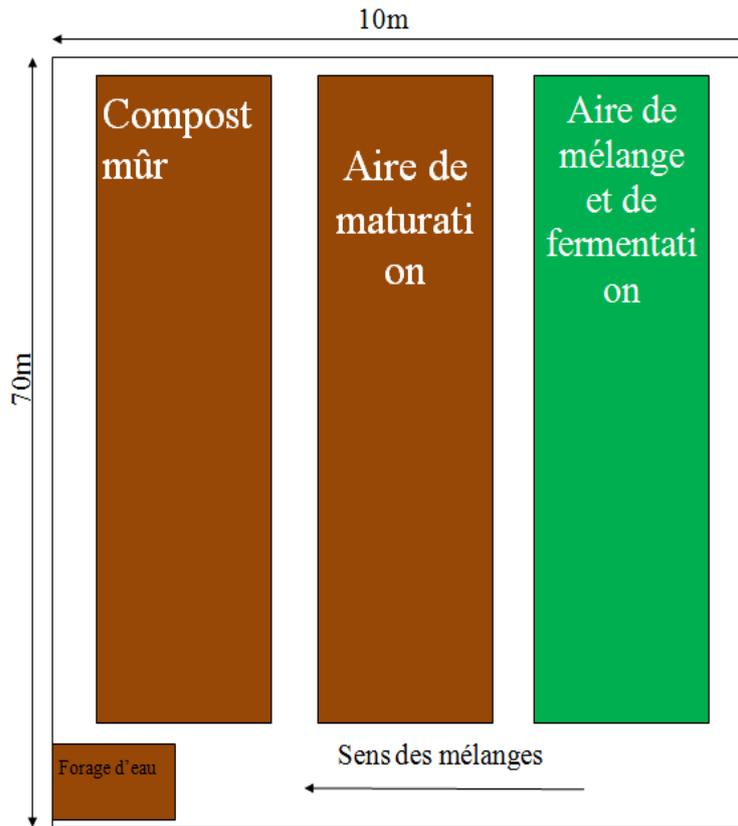
Compostière Masa 8



Compostière Azura 12



Compostière Comaprim yamani



Compostière Comaprim Ajana

ملخص

تتميز جهة سوس ماسة درعة بزراعة مكثفة، خاصة الزراعة البستانية، التي تعاني من مشكلة في إدارة النفايات العضوية وغير العضوية. النفايات العضوية تخضع لإدارة فوضوية مع إنشاء فضائات فوضوية لرمي الأبال في المنطقة، الشيء الذي يدهور جمالية المشهد، وكذلك احتمال تلوث المياه والهواء و إنتشار الروائح الكريهة. وهذا يشكل خسارة كبيرة من حيث المواد العضوية الموجودة في التربة

ويمكن الرفع من قيمة هذه النفايات من خلال التسميد وتدعيم التربة الفقيرة من المواد العضوية بهذا السماد كتكملة للأسمدة المعدنية وكذلك لإنتاج الغاز الحيوي. وبالتالي يمكن تحصيل فوائد اقتصادية وبيئية كبيرة

التسميد ، كتوصية في جميع أنحاء المنطقة ، يسمح بتقييم النفايات عن طريق تشجيع إعادة إستعمالها في الأرض كمادة سليمة، و خالية من جميع الكائنات الدقيقة الممرضة للنبات، و من بذور الأعشاب الضارة

تمثل هذه الدراسة تقييم وتشخيص وحدات التسميد الموجودة في المنطقة. كما تمثل أيضا تقييما لجودة السماد. من خلال المسوحات التي أجريت على بعض وحدات التسميد، نرى أن مستويات المواد الرئيسية في السماد تعتبر من المصادر الهامة لتسميد التربة

ومع ذلك، فإن المشكلة تكمن في حقيقة أنه لا يمكن إتقان عملية التسميد. كما أن موقع وحدات التسميد يجعلها مصادرا لتلوث الماء والهواء والتربة. تعتبر منتجات السماد خطرا للمحاصيل الزراعية النباتية بسبب عدم النضج

كلمات أساسية: سماد، وحدات التسميد، سوس ماسة، نفايات بستنية، تقييم، بيئة
