



# TRANSFERT DE TECHNOLOGIE EN AGRICULTURE

MADRPM/DERD

• Juin 2005 •

PNNTA

Fiche technique

## Le compostage des déchets de cultures sous serre et du fumier

### Qu'est ce que le compostage ?

Le compostage est un processus de conversion biochimique, par biodégradation aérobie, des matières organiques carbonées et azotées en un produit appelé compost qui est hygiénique, de composition stable et riche en substances humiques.

### Quelles sont les matières compostables ?

Toutes les matières organiques sont compostables. Pour le secteur des primeurs par exemple, les principaux déchets à composter sont: les feuilles, tiges et fruits de la tomate, du haricot vert, de la courgette et de toutes les cultures maraîchères, fumier, feuilles et tronc de bananier, déchets verts organiques de pépinières etc.

Il est recommandé de disposer d'une base de données des caractéristiques de matières compostables au niveau de chaque région agricole. Ceci exige l'analyse des déchets de cultures et des fruits les plus dominants ainsi que les autres matières organiques disponibles à proximité des exploitations. Ceci facilitera, comme nous allons le voir, le calcul d'optimisation des mélanges de matières à composter.

### Le compostage: voie d'élimination et de valorisation des matières organiques

Grâce au processus de biodégradation, le compostage permet d'éliminer près de 50 % de la masse des matières organiques initialement mise en compostage. Les pertes sont sous forme de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et d'eau.

### Quels sont les rôles du compost

Le compost joue plusieurs rôles:

- un rôle alimentaire qui réside dans la fourniture progressive des éléments nutritifs aux plantes cultivées,
- améliore l'activité biologique du sol,
- renforce l'efficacité des engrais minéraux apportés,
- améliore les propriétés physiques des sols (rétention en eau, rétention des cations des sols sableux, structure et stabilité structurale, circulation de l'air),
- Suppression de pathogènes par son effet de biofumigation.

Pour ce dernier point, Les résultats de recherche ont montré que le compost permet d'atteindre des résultats comparables à ceux obtenus par le bromure de Méthyl. Certains auteurs recommandent de coupler la solarisation aux amendements organiques. Ces travaux ont également montré que les amendements organiques permettent une suppression de la plupart d'agents pathogènes: nématodes, *Fusarium*, *Cylindrocarpon*, *Rhizoctonia*, *Pythium*, *Verticillium dahliae*, *Streptomyces*, etc...

Le mode d'action mis en jeu dans ce type de biofumigation consiste en la production de gaz par le bais de la décomposition des produits d'amendements organiques. Ces gaz détruisent de manière relativement sélective les pathogènes mais ne détruisent pas la totalité de la microflore du sol. Il semble que ce traitement est d'autant plus efficace que la teneur en azote des produits d'amendement organique est élevée. C'est le cas par exemple du compost à base de fumier.

Un autre mécanisme consiste en le développement des saprophytes après application du

- SOMMAIRE**
- n° 129
- Compostage**
- Pourquoi composter les déchets de culture... p.1
  - Quelle technologie adopter..... p.2
  - Paramètres d'un bon compostage..... p.3
  - Conduite du processus de compostage..... p.4
  - Valeur agronomique du compost..... p.6

compost. Ces saprophytes inhibent par compétition les agents pathogènes. Cette compétitivité, élevée pour les micro-organismes bénéfiques, se manifeste vis à vis des nutriments.

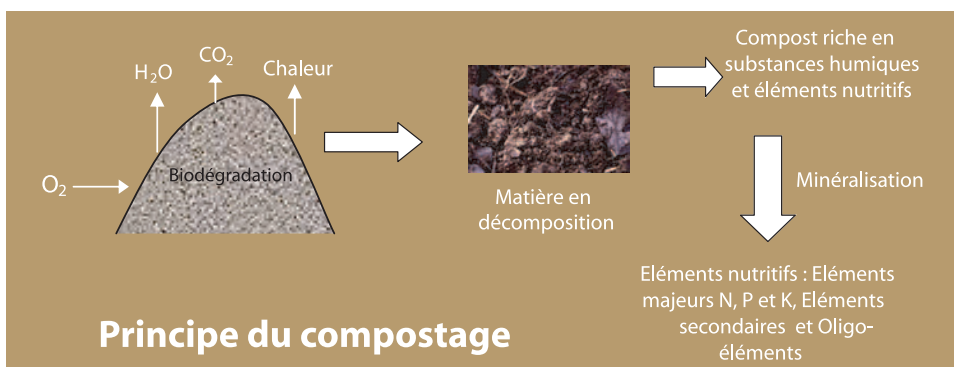
### Pourquoi composter les déchets de cultures ?

Les déchets de culture sous serre véhiculent un grand nombre de pathogènes. Leur enfouissement à l'état brut dans le sol engendre une dissémination de ces organismes ce qui inciterait inéluctablement au recours à l'utilisation de produits phytosanitaires. A ce niveau, il convient de souligner deux aspects importants caractérisant le secteur de fruits-légumes au Maroc: (i) l'application de doses importantes de fumier frais (20 à 60 tonnes/ha), notamment pour la tomate, le fraiser, la pomme de terre, le melon, etc... et (ii) l'accumulation de grandes quantités de déchets verts à proximité des serres et champs, notamment de tomate et de bananier (près de 30 % de la production d'après des estimations effectuées dans le Souss Massa).

Ces pratiques entretiennent et disséminent les populations de pathogènes. Un moyen efficace de remédier à cette situation est donc le compostage de ces matières organiques.

### Attention aux intrusions

Il est vivement recommandé d'éviter des intrusions de matières non organiques dans les tas



des matières à composter. En effet, il a été constaté que les déchets de tomate sont mélangés à des ficelles ou fils de fer. Une pratique adéquate d'élimination des ces intrus devra être adoptée avant la mise du tas en compostage.

## Qu'en est il des résidus de pesticides ?

Même si les cultures ou les déchets de cultures sont traités immédiatement avant leur mise en andains, il existe une incertitude importante sur la probabilité de trouver des résidus de produits phyto-sanitaires en fin de compostage. Cette probabilité dépendra évidemment de la rémanence des molécules de pesticides et leur biodégradabilité. Une étude a procédé à la recherche de 30 pesticides parmi les plus usuels dans un compost de déchets verts de la ville: tous étaient à des niveaux inférieurs aux limites de détection à l'exception de Chlordane (insecticide contre les termites). En somme, retenons que les pesticides les plus rémanents et les moins biodégradables peuvent se retrouver dans le compost.

## Comment le compost assainit le fumier et les matières organiques végétales ?

La plupart des organismes pathogènes sont éliminés par le compostage. Il est même démontré que certains organismes qui manifestent une forme de résistance et persistance dans le sol, comme les sclérotés, sont détruits par le compostage. Les nématodes comptent parmi les organismes les plus vulnérables au processus de compostage.

Les trois principaux mécanismes connus qui permettent la suppression des organismes pathogènes durant le processus de compostage sont rapportés dans l'encadré 1.

## Quelle technologie adopter ?

Il existe plusieurs types de procédés, du plus artisanal au plus sophistiqué. Signalons toutefois que le principe de compostage reste le même dans ses fondements biochimiques. Le passage du système artisanal simple aux systèmes très mécanisés, voire robotisés, permet de:

- augmenter la vitesse du processus;
- travailler sur une surface réduite ;
- maîtriser la gestion des odeurs par inspiration et bio-filtration;
- maîtriser de manière plus significative les autres contraintes environnementales;
- atténuer l'influence du climat, en particulier le froid et les précipitations.

Il est clair qu'à force de gagner en performances on génère des surcoûts en matière d'investissement et en fonctionnement (consommation d'énergie et maintenance). Les des systèmes décrits dans les colonnes 5 et 6 du tableau suivant sont assez onéreux et consommateurs d'énergie.

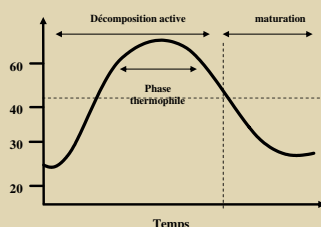


Déchets végétaux verts

## Encadré 1. Mécanismes de suppression de pathogènes pendant le compostage

### • Assainissement thermique lors de la phase thermophile

Comme le montre la figure suivante, le processus de compostage se caractérise par une phase dite thermophile pendant laquelle la température atteint des valeurs comprises entre 50 et 65 °C. Lorsque cette température séjourne (et touche la totalité de la masse en compostage) pendant au moins 5 jours, on assiste à une suppression totale des germes pathogènes. Remarquons que le compostage est un processus à la fois consommateur



d'énergie (matériaux carbonés) et producteur de chaleur. La durée de la phase thermophile par rapport à la phase globale de fermentation est variable selon les conditions de démarrage du compostage et la fréquence de retournement adoptée.

• **La toxicité** des substances générées par le métabolisme microbien et la biodégradation des composés organiques au cours du compostage (cas d'acides organiques ou produits phénoliques précurseurs de l'humification). Il a été également mentionné que les micro-organismes bénéfiques produisent des antibiotiques.

• **La compétition et antagonisme:** le compost permet de développer des saprophytes qui inhibent par compétition les agents pathogènes. Cette compétitivité, élevée pour les micro-organismes bénéfiques, se manifeste vis à vis des nutriments. Ce troisième mécanisme persiste après incorporation du compost au sol ■.

Tableau 1: les méthodes de base les plus utilisées pour le compostage

Appréciation	Compostage en casiers (tas multi-formes)	Andains statiques	Andains dynamiques (retournement)	Andains statiques à aération forcée	Compostage en containers
<b>Générales</b>	Faible technologie Qualité moyenne	Faible technologie, Problèmes de qualité	Système actif le plus commun dans les exploitations agricoles	Système adopté pour les exploitations agricoles et en particulier par les municipalités (ordures ménagères et/ou espaces verts)	Système à grande échelle pour des applications commerciales
<b>Main d'oeuvre</b>	Demande moyenne en main d'oeuvre	Faible demande de main d'oeuvre	Besoin moyen en main d'oeuvre Le besoin en main d'oeuvre augmente avec le besoin en aération	Besoin faible en main d'oeuvre sauf pour la phase de design et de mise en œuvre de la plateforme	Exige un niveau élevé et constant de gestion et un bon écoulement du produit pour le recouvrement des coûts
<b>Site</b>	Superficie limitée	Exige un grand d'espace	Peut exiger une superficie notable	Faible superficie	Superficie très limitée grâce à la vitesse du processus et à la continuité des opérations
<b>Agents structuraux</b>	Flexible	Moins flexible Doit être poreux	Flexible	Moins flexible Exige une certaine porosité	Flexible
<b>Période active</b>	2 - 6 mois	6 - 24 mois	21 - 40 jours	21 - 40 jours	21 - 35 jours
<b>Maturation</b>	Un mois	Non adoptée	30 - 40 jours	30 - 40 jours	30 jours
<b>Taille: Hauteur</b>	Dépend de la dimension des casiers	1 - 4 mètres	1 - 2.8 mètres	3 - 4.5 mètres	Dépend du design
<b>Taille: Largeur</b>	Variable	3 - 7 mètres	3 - 6 mètres	Variable	Variable
<b>Taille: Longueur</b>	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable
<b>Système d'aération</b>	Naturel Retournement mécanique	Naturel	Retournement mécanique et convection naturelle	Aération forcée (négative par aspiration) ou positive en insufflant l'air à travers les andains	Retournement et aération mécaniques extensifs
<b>Interventions sur le processus</b>	Mélange initial et un retournement	Seulement mélange initial	Mélange initiale et retournement périodique	Mélange initial, aération et contrôle de la température	Mélange initial, aération, retournement et contrôle du temps et de la température
<b>Odeurs</b>	Les odeurs surgissent lors des retournements	Les odeurs émanent des andains; plus hauts sont les andains, plus il y a émanation des odeurs	Les odeurs peuvent émaner de la surface Le retournement peut créer des odeurs durant les dix premiers jours	Les odeurs peuvent être maîtrisées par bio-filtration de l'air sortant	Les odeurs ne se produisent qu'en cas de défaillances dans le système

Il existe plusieurs sous-variantes de ces systèmes qui diffèrent selon la nature du matériel utilisé et le niveau d'automatisation.

Dans certains cas, on utilise aussi le lombricompostage ou vermi-compostage qui est basé sur une première digestion des matières organiques par les vers de terre. Cette technique a stimulé un développement de ce qu'on appelle la lombriculture et la commercialisation de différentes espèces de vers de terre.

Considérant le contexte climatique et socio-économique de la plupart de nos régions ainsi que la disponibilité de terrain dans les zones agricoles, il est recommandé d'opter pour une technologie semi-mécanisée de type «andains dynamiques à retournement périodiques». Ce procédé s'avère techniquement acceptable et économiquement viable pour le cas des déchets organiques agricoles. Il permet à la fois une bonne maîtrise du processus, une économie en investissement et en fonctionnement et un emploi appréciable de la main d'œuvre.

## Quels sont les paramètres d'un bon démarrage du 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.**

### Le rapport C/N

**Ce rapport doit être compris entre 25 et 35** (de préférence autour de 25). Si le rapport C/N est inférieur à 20, on assiste à une perte d'azote et à une production d'ammoniac et donc à l'émanation de mauvaises odeurs. Si le C/N est supérieure à 40, le processus de biodégradation devient lent.

Pour cela, un mélange de matières carbonées et azotés est recommandé. En général, les matières riches en carbone (MC) sont de couleur brune et sèches et les matières riches en azote (MN) sont vertes et humides. Lorsqu'on ne peut pas se permettre de faire des analyses de carbone et d'azote des matières premières, on peut opter pour les ratios de 2/3 de MC et 1/3 de MN.

### L'humidité

La teneur en eau est un facteur important pour l'activité des micro-organismes. Dans la pratique, il convient d'éviter une forte humidité car l'excès d'eau chasse l'air de l'espace lacunaire du tas en compostage, ce qui déclenche des conditions d'anaérobiose et une très mauvaise circulation d'air à l'intérieur du tas. Ce phénomène est assez fréquent lorsque les déchets contiennent des matériaux mouillés et peu résistants à la biodégradation. Aussi, une teneur en eau faible, inférieure à 50% du poids frais, ralentit de manière significative l'activité biologique. **La teneur en eau optimale pour le processus de compostage est comprise entre 50 et 60%.** Les conditions d'anaérobiose généralisées ou localisées commencent à se produire au delà de 65-70%.



Retournement de compost

### La taille des particules

Pour faciliter la biodégradation, la taille des matériaux à composter doit être comprise entre 1.3 et 5 cm. Pour cela, on doit procéder au broyage lorsque les matériaux dépassent significativement cette grandeur. Signalons que la granulométrie ne doit pas non plus être fine pour éviter le tassement du tas et par conséquent une réduction de la circulation de l'air.

### Rapport C/N et humidité (H) du mélange de matières organiques à composter: calcul et ajustement

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

Où: (C/N) mélange: Le rapport C/N du mélange de matières à composter, Mi: masse de la matière i (masse fraîche), Hi: Humidité de la matière Mi, Ci: Teneur en carbone de la matière Mi (en % du poids sec), Ni: Teneur en azote de la matière Mi (en % du poids sec).

$$\text{Humidité du mélange} = \frac{[(M1 \times H1) + (M2 \times H2) + (M3 \times H3) + \dots]}{M1 + M2 + M3} \quad (\text{formule 2})$$

Lorsqu'on dispose de plusieurs matières premières à composter, on utilise ces deux formules en essayant différentes combinaisons pour atteindre les valeurs recommandées du rapport C/N et de l'humidité du mélange. Il existe des programmes d'optimisation de ces paramètres sur le marché ou on-line. Toutefois, ils demeurent trop simplistes, ne couvrent pas la base de données nécessaires et suffisantes et n'intègrent pas les autres contraintes (disponibilité et coût de matières premières, objectif d'élimination maximale d'une matière première, paramètres de qualité du produit final, estimation de la production de CO<sub>2</sub> et celle de chaleur etc.). Un programme d'optimisation (OPTICOMPOST-SL) est récemment élaboré et est actuellement en cours d'alimentation par une base de données locales sur les analyses des restes de cultures et de différentes matières organiques compostables (déchets ménagers, déchets verts agricoles etc.).

### Exemple de calcul: Cas de deux matières ou ingrédients

Supposons que nous avons à composter du fumier avec des déchets de tomates (feuilles et tiges). Pour cela, on donne, dans le tableau suivant, la composition indicative (pas réelle) des de ces matières premières:

Déchets	Humidité (%)	Carbone (%)	Azote (%)	C/N
Feuilles et tiges de tomate légèrement séchées	55	12	0.3	40
Fumier	40	30	1.5	20

**Cas 1.** on se propose de co-composter le fumier et les déchets de tomate selon une proportion 1:1, le rapport C/N du mélange sera calculé comme suit:

$$(C/N) \text{ mélange} = \frac{[(1 \times 0.12 \times (1 - 0.55)) + (1 \times 0.3 \times (1 - 0.4))] / [(1 \times 0.003 \times (1 - 0.55)) + (1 \times 0.015 \times (1 - 0.40))]$$

$$(C/N) \text{ mélange} = 22.6 \text{ soit } 23.$$

Ce rapport est légèrement faible par rapport à la norme, on peut majorer de 10 à 20 % la quantité de déchets de la culture de tomate.

$$\text{Humidité du mélange} = (55 \% + 40 \%) / 2 \text{ soit } 47.5 \%$$

Un léger arrosage (10 % en plus) est nécessaire pour ramener la teneur en eau à 55 %. En



Déchets verts et leur compost



Retournement de compost

majorant la quantité de déchets de cultures, on profitera pour rehausser aussi le niveau de l'humidité.

**Cas 2.** Si on se propose de composter le maximum de déchets verts (objectif d'élimination et de valorisation), on peut adopter le ratio 4:1 (4 parts de déchets de tomate et 1 part de fumier; ce qui est d'ailleurs très recommandé)

On calcule le C/N de la même manière que précédemment.

Le C/N de ce mélange est égal à 27.5 (C/N très valable).

On calcule l'humidité du mélange de la manière suivante:

$$\text{Humidité du mélange (\%)} = \frac{[(4 \times 55) + (1 \times 40)]}{(4 + 1)} = 52 \%$$

Nous remarquons que ce mélange des déchets de la culture de tomate et du fumier, selon le ratio 4:1, a permis d'obtenir un rapport C/N optimal et un rapprochement de l'humidité à son niveau optimal. Un léger arrosage est toutefois nécessaire.

### Exemple de calcul d'ajustement du rapport C/N pour deux matières premières

Si on connaît la masse d'une seule matière première (M1), on peut déduire la quantité de l'autre matière première (M2) en fixant le rapport C/N optimal (Ropt.). Ceci est possible grâce à la formule globale du mélange énoncée plus haut.

$$M2 = \frac{[M1 \times N1 \times [Ropt - (C1/N1)] / (100 - H1)]}{[(C2/N2) - Ropt] \times (100 - H2)}$$

Calculons, avec les données de l'exemple ci-dessus, la quantité de fumier que nous devons ajouter à 120 tonnes (production annuelle moyenne de déchets de tomate par 2 hectares). Fixons le rapport C/N à 30.

$$M2 \text{ (Masse de fumier)} = \frac{[120 \times 0.003 \times [30 - 40] / (100 - 55)]}{[0.015 \times [(0.30/0.015) - 30] \times (100 - 40)} = 27 \text{ tonnes (soit un ratio d'une tonne de fumier pour 4.4 tonnes de déchets de cultures de tomate).}$$

Quelle est l'humidité de ce mélange ?

En utilisant la formule 2, l'humidité du mélange qui en résulte est égale à 52 %. Un léger arrosage serait recommandé pour ramener l'humidité à 55 %.

## Cas particulier mais possible

On se propose de calculer la quantité M2 d'une matière (cas du fumier dans l'exemple) en fixant à 120 tonnes la masse (M1) de déchets de la culture de la tomate et à 55 % l'humidité optimale recherchée (Hopt). L'humidité optimale doit être située entre les valeurs d'humidité des deux matières à composter.

$$M2 = [(M1 \times Hopt) - (M1 \times H1)] / (H2 - Hopt)$$

$$M2 = [(120 \times 55) - (120 \times 55)] / (40 - 55) = 0 \text{ tonnes}$$

On suppose que l'humidité des déchets de tomate au moment de compostage est de 65 % et que le taux optimal d'humidité est fixé à 60 %. M2 sera égale à: 24 tonnes.

Ce calcul n'est autorisé que lorsque le C/N des deux matières sont comprises dans la fourchette optimale et que les leurs teneurs en eau des différentes matières ne présentent pas une différence d'humidité de plus de 15 %.

## Additifs aux matières organiques à composter

Les additifs qu'on ajoute à la matière ou au mélange de matières à composter peuvent avoir trois rôles importants:

- Rôle d'agent structural pour garantir une aération optimale du tas en compostage et/ou pour régulariser l'humidité à l'intérieur du tas.
- Rôle d'ajustement du rapport C/N pour ramener le mélange de matières à composter à un C/N de 25 à 35.
- Rôle de diminution des pertes d'azote

## Deux grandes catégories d'additifs

- additifs organiques (biodégradables)
- Additifs inertes et/ou minéraux

## Propriétés recherchées dans les agents structuraux

- sec
- de faible densité
- résistant à la compaction
- organique biodégradable
- non toxique
- très disponible et à faible coût

## Principaux types d'additifs ou agents structuraux et leur rapport C/N

Matière additive	N (% de Matière sèche)	C/N
Tiges de maïs	0.6-0.8	60-73
Paille	0.3-1.1	48-450
Ecorce de bois de feuillus	0.1-0.4	116-436
Ecorce de bois de résineux	0.04-0.39	131-1285
Papier de journal	0.06-0.14	398-852
Sciure de bois	0.06-0.8	200-750
Copeaux de bois	0.04-0.23	212-1313
Feuilles	0.5-0.13	40-80



Matières plastiques dans les déchets

## Site de compostage

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

Ce choix doit tenir compte des aspects suivants:

- Le risque de transfert de polluants vers les eaux de surface et les eaux souterraines; le site doit être loin des eaux de surface et des captages de l'eau potable d'une distance d'au moins 500 m et doit être situé à au moins 30 mètres des cultures pour éviter le retour et la dissémination des agents phyto-pathogènes;
- Les risques de dissémination d'une masse microbienne ou de contaminants dans l'air par le biais de poussières et spores;
- La distance par rapport à la zone de production de déchets. En effet, les longues distances augmentent de manière significative le coût de transport;
- Les antennes et pistes d'acheminement des déchets;
- Les conditions géotechniques;
- Les risques d'engorgement;
- Les possibilités d'extension du site;
- La distance par rapport aux lieux de valorisation du compost;
- La proximité d'une source d'eau pour l'arrosage.

## Evaluation de la superficie requise

### Ordre de grandeur pratique

Pour le cas des déchets agricoles et du fumier, on estime la superficie de la plate-forme à environ 0.5 ha pour 50 tonnes/semaine de déchets livrés en continue lorsqu'on adopte le système que nous avons recommandé qui consiste en les andains périodiquement retournés (Compostage en andains dynamique).

### Bases de calcul de la superficie requise et de dimensionnement de la plate-forme

Un calcul de dimensionnement plus précis doit reposer sur les paramètres suivants:

- La masse volumique du mélange de déchets à composter avec ou sans d'additifs structuraux;
  - La réduction de 50 % de la masse initiale après la phase active de compostage;
  - Une durée de 6 semaines de la phase active de compostage;
  - Les dimensions des andains (3 à 3.5 mètres de large et 1.8 à 2.2 mètres de hauteur) et enduire le volume des andains;
  - La durée de maturation (retenir une période minimale de 4 semaines);
  - La dimension des tas en maturation 5-6 m de base et 2 mètres de haut et en déduire le volume correspondant;
  - Une dizaine de semaines de stockage du compost (comme valeur maximale car cela dépendra de l'écoulement ou de l'autoconsommation du produit dans la ferme).
- Ces paramètres permettent de déduire les données suivantes:
- Taille et nombre nécessaire des andains et donc superficie;
  - Taille des tas de maturation et donc de la superficie requise;

- Superficies de l'aire de stockage;

Le calcul de la superficie totale requise doit également inclure:

- les espaces entre les andains pour la commodité de passage et la manutention des machines;
- l'emplacement du bassin de récupération des lixiviats et des eaux pluviales;
- deux petits locaux (vestimentaires, toilettes, magasin).

## Particularités: saisonnalité de production

Dans les exploitations maraîchères, on assiste à une particularité à gérer qui réside dans la saisonnalité de la production des déchets qui est naturellement liée aux cycles des cultures. Les deux principaux pics de production de déchets de fruits et légumes relevés dans le Souss Massa sont: l'automne et le mois de Juillet. Ces pics correspondent respectivement aux cultures d'été et de printemps.

Dans ce cas, le dimensionnement est difficile à optimiser car la superficie sera plutôt dimensionnée sur les saisons de forte livraison. Comme il n'y a pas de solution parfaite, on recommande deux options:

- prévoir une aire de stockage isolée de la plate-forme qui alimentera l'unité de compostage selon la capacité de celle-ci; et/ou
- Identifier deux grandes campagnes de compostage ce qui nécessiterait une superficie plus grande qui ne sera pas exploitée sur toute l'année.

## Conduite du processus de compostage

### Mise en andains

Une fois les paramètres de mélange sont optimisés, on procède par la mise en place des andains. Un andain peut avoir une forme géométrique quelconque mais une largeur de 3-3.5 m et une hauteur de 1.8-2.2 m sont recommandées.

Ces dimensions peuvent être adaptées au type de machine de retournement. La longueur dépend de la quantité et de l'organisation spatiale de la plate-forme.

### Monitoring du processus de compostage

Le monitoring du processus de compostage consiste à contrôler trois paramètres importants: la **température**, l'**aération** (oxygène lacunaire) et l'**humidité**. On peut dire rapidement que dans le système de compostage préconisé ici, les deux moyens de contrôle de ces paramètres sont: le retournement des andains et leur arrosage en cas de baisse de l'humidité en deçà de 40-50 %.

### Température

Biochimiquement, la température suit une allure assez connue caractérisée par une phase thermophile. Un suivi adéquat de ce paramètre consiste à:

- Garantir une phase thermophile d'au moins une semaine où la température doit atteindre 60 à 65 °C pour permettre un assainissement du compost;
- Eviter une augmentation excessive de température au-delà de 70 °C car le processus peut être entravé avec un risque d'incendie pour le cas des grands andains. Dans ce cas, il serait intéressant de retourner les andains. En effet, il a été constaté que la différence de tempéra-

ture peut être de plusieurs degrés entre la profondeur et la couche superficielle de l'andain;

- S'assurer que toute la masse en compostage a été touchée par les températures élevées. Pour cela, le retournement des andains est nécessaire. Toutefois, le retournement, en période très froide, peut baisser significativement la température. Remarquons, même en période très froide, le compost continue à chauffer de l'intérieur.

Le retournement peut permettre un contrôle de la température dans le sens de sa diminution (brassage avec l'air ambiant) et de son augmentation (fourniture d'oxygène pour l'oxydation de la matière organique).

### Aération et oxygène

Le tas en compostage doit avoir une structure qui lui permet une bonne circulation de l'air et par conséquent une bonne oxygénation de tas et une évacuation normale de CO<sub>2</sub>. 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. Le seul moyen qui permet une aération, dans le système préconisé, est le retournement. Il est évident que d'autres systèmes d'aération forcée (en insufflant ou en aspirant l'air) peuvent être adoptés. L'aspiration de l'air est la plus recommandée car elle permet d'éviter l'envoi des odeurs dans l'environnement de l'unité de compostage. Toutefois, ce système requiert l'installation de bio-filtres pour le piégeage et la décomposition des substances générant les mauvaises odeurs.

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

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

### Encadré 2. Tests rapides d'appréciation de l'humidité au cours du compostage

#### Test manuel

Ce test consiste à prendre une poignée de compost dans la main et de la presser:

- Si on réussit à faire percoler quelques gouttes entre les doigts et que le matériau ne se disperse pas quand on ouvre la main, on peut dire que le compost est à un niveau acceptable d'humidité.
- Si un fin filet d'eau s'en échappe, il est trop humide.
- Si aucune d'eau ne percole, il est sec

#### Test de la température

On enfonce une tige métallique à une profondeur d'un mètre et on la laisse pendant une quinzaine de minutes puis on la retire:

- Si elle chaude et humide le compostage se déroule normalement et a une bonne humidité.
- Si elle est froide et humide, le matériau en compostage est probablement trop humide.
- Si elle chaude et sèche, il n'y a probablement pas assez d'eau ■.

### L'humidité

L'humidité est un facteur qui est en interaction négative avec l'aération. Lorsque la teneur en eau augmente, la proportion de l'espace lacunaire occupée par l'air diminue.

La fourchette optimale de la teneur en eau du tas en compostage est: 50-60 %. L'humidité ne doit ni excessive (> 60 %) pour éviter les conditions d'anaérobiose, ni trop faible (< à 30 ou 40 %) pour éviter la diminution de l'activité biologique de biodégradation des composés organiques.

Le retournement est un moyen qui permet de contrôler l'humidité.

En absence de matériel spécialisé pour la mesure de l'humidité, quelques tests simples et rapides d'appréciation de la teneur en eau du tas de compostage sont rapportés dans l'encadré 2.

### Maturation du compost

Après la phase de fermentation active, le compost est mis en tas pour subir ce qu'on appelle une phase de maturation. Au cours de cette phase, la température diminue progressivement pour atteindre des valeurs comprises entre 30 et 45 °C. La durée de cette phase peut varier de 6 à 8 semaines. Au cours de la maturation, la matière organique se stabilise avec une élimination des substances organiques phyto-toxiques. La maturation est importante, particulièrement lorsque le compost est utilisé en pépinière. Les tests de maturation les plus simples sont rapportés dans l'encadré 3.

### Post-compostage

Un tamisage du compost est recommandé pour éliminer les matériaux grossiers. Le tamisage peut être fait avec des tamis rotatifs inclinés ou tout simplement avec des grillages de maille adaptée; Tout dépendra des quantités de compost et du niveau de mécanisation de l'unité de compostage. La maille du tamis dépendra du type d'usage:

Un compost non tamisé peut être utilisé pour des amendements organiques des sols sous vergers arboricoles ou pour réhabiliter des sols dégradés.

Pour avoir un compost de bonne qualité, un tamisage avec des tamis de maille de 10 mm est recommandé. Pour les substrats de semis, une maille de 5 mm est recommandé.

Le refus au tamisage peut être recomposté avec les matières premières.

**Tableau 3: Effets des conditions climatiques sur le compost**

Facteur	Effets	Que faire ?
<b>Excès de froid</b>	Refroidissement des couches superficielles du tas Perte de chaleur. Ceci a pour conséquence la réduction de l'activité biologique	Éviter un retournement fréquent pour ne pas ralentir la reprise de température en profondeur de l'andain
<b>Forte pluie</b>	Augmentation excessive d'humidité Diminution du taux d'oxygène dans l'espace lacunaire et développement des conditions d'anaérobiose Émission de mauvaises odeurs Lixiviation des éléments nutritifs, notamment les nitrates	Adopter une forme arrondie des tas pour permettre le ruissellement Retourner les tas Couvrir avec une bâche spéciale (actuellement commercialisée) qui permet l'échange gazeux mais pas la pénétration de l'eau
<b>Vent fort</b>	Augmentation du pouvoir évaporatoire de l'air ambiant Dessèchement du tas	Planter des brise-vents Déposer les tas de manière perpendiculaire à la direction du vent dominant



Andains de compost



Retournement du compost

### Encadré 3. Tests de maturation

#### Test biologique

La méthode la plus simple, pouvant être adoptée sans difficulté est celle de test de germination. Le principe consiste à placer des graines de cresson (*Lepidum Sativum*), de laitue ou de Ray Gras d'Italie dans une série boîtes de Pétri avec papier filtre imbibé de doses croissantes de d'extrait de compost; une autre série témoin (sans compost) est préparée. L'ensemble est placé dans un incubateur réglée à 27 °C pendant 24 heures. A la fin de l'incubation, le nombre de graines germées et la longueur des racines sont évalués. On calcule ainsi un Indice de Germination (IG):

$$IG = (GB/GT) \cdot (LB/LT) \cdot 100$$

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'Indice de Germination (IG) est inférieur à 60 %, le compost doit être appliqué 90 jours avant l'installation de la culture. Si l'IG est inférieur à 50 %, le compost n'est pas encore mûr et il est recommandé de continuer le compostage jusqu'à la maturité.

Un test biologique très proche de celui-ci consiste à compléter le test de germination par un test de croissance (phase phénologique de jeune plantule). La plante test est toujours le cresson. Le substrat utilisé consiste en un mélange de 2/3 de tourbe et de 1/3 de compost. Le test est conduit pendant 7 jours. Les paramètres mesurés le 2<sup>ème</sup> et le 7<sup>ème</sup> jour sont: le taux de germination, la masse végétale produite, l'élongation des racines et le nombre de plantules présentant des anomalies.

#### Test de température

Ce test est simple et rapide. Il consiste à prendre un échantillon de compost en maturation, de l'humidifier et de mesurer de temps en temps la température. Si la température augmente, le compost n'est pas encore mûr. Cela veut dire que l'activité biologique de biodégradation continue ■.

## Effets des conditions climatiques

Les effets des facteurs climatiques sont résumés dans le tableau 3. Des solutions d'atténuation sont aussi proposées.

La couverture de l'andain par une bâche spéciale permet, en cas de pluies, de protéger les andains tout en permettant l'échange gazeux.

## Matériel de retournement

Il existe, dans le marché international toute une panoplie d'équipement de sophistication variée. Aussi, certains types de matériel peuvent être perfectionnés localement. Une gamme variée d'appareils de mesure de la température, de l'oxygène lacunaire et de l'humidité sont aussi disponibles sur le marché.

## Aspects environnementaux

L'aménagement du site de compostage est nécessaire pour se prémunir d'un certain nombre d'effets indésirables:

- Les brises-vents pour atténuer le problème des odeurs et le pouvoir évaporateur.
- Une zone tampon autour de l'unité de compostage
- Une étanchéité ou imperméabilisation de la plate-forme pour éviter les infiltrations verticales des lixiviats vers les eaux souterraines; plusieurs schémas d'aménagement sont disponibles et assez connus en génie civil.
- Aménager l'aire de compostage en pente et avec des drains permettant la collecte des lixiviats et des eaux pluviales et leur écoulement vers un bassin réceptacle. Les eaux de lixiviats doivent être traitées comme des eaux usées ou évaporées. Leur recyclage sur les tas en com-

postage n'est pas recommandé à cause de leurs teneurs en germes pathogènes.

## Autres précautions

L'organisation spatiale de la plate-forme est très importante. En effet, il convient de respecter au moins deux règles essentielles:

- Eviter que les déchets bruts ne contaminent pas les tas en fin de fermentation;
- Les aires de maturation et de stockage du compost doivent être situées le plus loin possible de l'aire de réception et de fermentation

## Objectif de qualité à respecter dans le cadre d'une valorisation agricole d'un compost

Sur base de la littérature et des expériences marocaines et en l'absence de normes et standards institués à l'échelle locale, nous proposons dans le tableau 2 les seuils des paramètres de qualité «objective» qui répondent aux attentes des utilisateurs potentiels de compost. A ce niveau, des dossiers de normalisation des amendements organiques sont en cours d'instruction par le Comité Normes et Standards au Département de l'Environnement en concertation avec les différents organismes concernés.

## Valeur agronomique du compost

### Valeur minérale

La valeur minérale correspond à la quantité d'éléments nutritifs majeurs et d'oligo-éléments disponibles dans le compost sous formes directement assimilables ou fournis par voie de minéralisation. Sur base de quelques



expérimentations conduites au Maroc, on considère en moyenne qu'une tonne de compost fournit les quantités moyennes d'éléments majeurs suivantes:

- 10 kg de N
- 3 à 9 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>
- 3 à 6 kg de K<sub>2</sub>O

A ce niveau, il semble utile en premier abord de lever certaines ambiguïtés relatives par quelques études de marché du compost réalisées au Maroc. Ces ambiguïtés résident dans le fait que le compost est considéré comme un substituant des engrais minéraux ce qui tout à fait aberrant. Le compost est un produit d'amendement dont la valeur organique est plus recherchée que la valeur minérale.

### Valeur organique

Une autre ambiguïté, assez courante au Maroc, même chez les vendeurs de composts à base de fumier, réside dans le fait qu'un niveau élevé en matière organique est un indicateur de bonne qualité. Ceci est aberrant car le compostage, en tant que processus biochimique, consiste en une biodégradation du carbone organique et donc en une diminution de la teneur en matière organique et du rapport C/N (de 25 à 12 en moyenne). Toutefois, la matière organique résultante est plus noble grâce à sa richesse en substances humiques. La matière organique à laquelle on fait allusion dans les analyses de compost est la matière organique oxydable stabilisée. Il est clair que la majeure partie du compost est sous forme organique si on considère la matière organique totale obtenue par la méthode de calcination (perte au feu).

Selon les normes de US-EPA, la teneur en matière organique doit être inférieure à 50 %. Une teneur de 30 % semble être adéquate. Une teneur élevée est indicatrice d'un rapport C/N élevé et donc d'un inachèvement du processus de biodégradation et donc d'une faiblesse de la teneur en substances humiques.

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

### Prof. Brahim SOUDI

Département des Sciences du Sol  
Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat  
b.soudi@iav.ac.ma, Tél./Fax (037) 68 01 77

Travail réalisé par Prof. Brahim SOUDI, consultant national de la FAO, dans le cadre du projet FAO/TCP/MOR/3001 "Appui à la lutte contre le virus des feuilles jaunes en cuillère (TYLC) de la tomate et son vecteur".

Tableau 2: Objectifs de qualité d'un compost

Paramètre/Constituants	Valeurs limites pour une valorisation en agriculture	Valeurs limites pour une valorisation dans les espaces verts	Remarques
Granulométrie	7 – 13 mm	7 mm	
Humidité (% MS)	30 – 35 %	30 %	
Matière organique (% MB)	30 – 40 %	30 – 50 %	Un max de 40 % est toléré
C/N	12 à 15	12 à 15	
pH	5 – 7.5	5 – 7.5	
Conductivité (mS/cm)	2 - 5	2 - 3	Des niveaux de salinité plus élevées peuvent être admises pour les cultures tolérantes et halophytes. Attention: pour les substrats de pépinière, les normes peuvent être plus strictes
Inertes totaux de diamètre < 5 mm	Inférieur à 8% sur MS	< 2 %	
Dont verre de diamètre < 5 mm	Inférieur à 0,5% sur MS	0 %	
Verres et métaux de diamètre < 2 mm	Inférieur à 5% sur MS	0 %	
Synthétiques lourds de diamètre < 5 mm	Inférieur à 1% sur MS	1 %	
Synthétiques légers (films) de diamètre < 5 mm	Inférieur à 0,5% sur MS	1 %	
Synthétiques totaux de diamètre < 2 mm	Inférieur à 1,7% sur MS en moyenne avec analyse en continu	1 %	
Coupants, tranchants	Absence	Absence	
Plastiques et textiles	< 5 %	< 1 – 2 %	
Maturité (appréciée par le taux de germination des graines de cresson)	> à 60 %	60 %	Un taux de maturité plus élevée est requis pour les plants en pépinières car un compost moins mûr contient des acides organiques et des substances précurseurs de l'humification qui inhibent la germination des graines et qui sont toxiques pour les jeunes plantules.
Germes pathogènes	absence	absence	

NB. Les métaux lourds ne sont pas repris dans ce tableau de normes car les déchets de cultures et le fumier ne contiennent pas ce type de composés.