
Déchets organiques agricoles : position du problème et options de gestion

Brahim SOUDI¹, Claude N. CHIANG²,
Fatima NAMAN³ & Lhassan KRIM⁴

1. INTRODUCTION

Les résidus de cultures constituent un maillon important dans la dynamique du cycle de la matière organique. En effet, ils constituent le pool de la matière organique fraîche qui subit une minéralisation directe générant le CO₂ et des éléments nutritifs assimilables par la plante et simultanément une humification dont résulte la production des substances humiques. Celles-ci subissent une minéralisation relativement lente qui aboutit aux mêmes produits ultimes que ceux résultant de la minéralisation de la matière organique fraîche. Ainsi, le maintien d'un niveau constant de matière organique dans le sol requiert un équilibre entre la quantité de matière organique humifiée et celle qui est minéralisée. En d'autres termes, une bonne gestion du pool humique du sol consiste à avoir une variation annuelle nulle de matière organique.

Le niveau de matière organique des sols marocains est relativement faible comparé aux pays des régions tempérées. Ceci est attribué en grande partie à la forte intensité de minéralisation de la matière organique (Soudi, 1982, Soudi *et al.*, 1990). On estime le pool de matière organique des sols cultivés au Maroc à environ 351 millions de tonnes sur une couche de sol de 20 cm (Naman *et al.*, 2001). Ce patrimoine, non extensible, est soumis, en plus de la minéralisation intense, à des phénomènes de déperdition suite à l'érosion et aux mauvaises pratiques agricoles comme le brûlage et l'exportation

¹ Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, B.P. 6202 Madinate Al Irfane, 10101 Rabat, Maroc, Tél. & fax : 212 37 68 01 77

² Université Catholique de Louvain-la-Neuve, Belgique

³ Faculté des Sciences Chouaib Doukkali, El Jadida, Maroc

⁴ Institut des Techniciens Spécialisés en mécanique Agricole et Équipement Agricole de Bouknadel, Maroc

Courriel : b.soudi@iav.ac.ma ; l.krim@iav.ac.ma

des résidus des cultures hors parcelle pour l'alimentation du bétail en particulier durant les années de sécheresse. Il en résulte une détérioration de la fertilité physique et chimique du sol et une perturbation de l'équilibre biologique du sol.

Les quantités de déchets ou résidus de cultures varient de manière significative selon le type et les systèmes de cultures et le niveau de production. Dans le contexte de l'agriculture marocaine, on peut distinguer deux grands types de situations : les grandes cultures et les cultures de fruits et légumes. Certains diagnostics préliminaires ont montré que le problème de ces restes de cultures ne se pose pas de la même manière. Ils requièrent des modes de gestion totalement différents (Soudi, 2005). Les options de gestion sont conflictuelles: la restitution des résidus dans le sol pour assurer le maintien du niveau de la matière organique dans le sol ou l'élimination de ces résidus en particulier maraîchers pour éviter la dissémination des maladies et l'encombrement des serres. La prise de décision doit ainsi être modulée selon les différents cas de figure et en particulier selon les quantités de résidus produites et selon les risques de dissémination des agents phyto-pathogènes.

En effet, dans la région de Souss-Massa par exemple, la dissémination du virus TYLC et de son vecteur, la mouche blanche, a été largement facilitée par les déchets de la culture de tomate accumulés à proximité des exploitations agricoles ou transportés d'un endroit à l'autre. De plus, les agriculteurs sont contraints, dans le cadre du processus de certification, de répondre à un certain nombre de critères de conformité dont le plus important consiste en la mise en œuvre d'un plan de gestion de tous les déchets de l'exploitation (EUREPGAP, 2004).

Cette communication a pour objectif de proposer des modes de gestion des résidus de cultures dans les deux types de situations culturelles qui permettent à la fois de réinsérer la matière organique dans son cycle biochimique naturel et d'éviter les problèmes pouvant être générés par les résidus frais. Les résultats exposés sont le fruit d'une synthèse des travaux effectués dans quatre régions agricoles du Maroc.

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les investigations effectuées au laboratoire et sur le terrain ont concerné quatre régions: les périmètres irrigués des Doukkala, Souss-Massa, Tadla et la zone d'agriculture pluviale de la Chaouia. La détermination des quantités de résidus de récolte a été effectuée dans 20 situations différentes qui se distinguaient par le type de sol, le type de culture et son mode de conduite (sous serre et en plein champ), le mode d'irrigation, le système de culture et le niveau de production.

Les méthodes adoptées pour l'estimation des restes de cultures sont de deux types :

- Pour le cas des grandes cultures et des cultures maraîchères conduites en plein champ, le ramassage des résidus a été effectué sur cinq placettes de 1 m², réparties au hasard le long de la parcelle. Des échantillons ont été prélevés pour analyses au laboratoire.
- Pour le cas des cultures de fruits et légumes conduites sous serre, cette estimation effectuée dans la région représentative de Souss-Massa, a été basée sur :
 - Les données déclarées par les agriculteurs (sur base de l'estimation de la vente de ces déchets pour l'alimentation de bétail ou sur base des quantités transportées hors serre).
 - Les quantités de déchets livrées à des unités de compostage récemment mises en place par certains producteurs et sur base des superficies de cultures correspondantes.
 - Les ordres de grandeur tirés de la littérature.

Ce volet particulier de l'étude a été réalisé par Soudi (2005) pour la FAO dans le cadre du projet FAO/TCP/MOR/3001 «Appui à la lutte contre le virus des feuilles jaunes en cuillère (TYLCV) de la tomate et son vecteur». L'essentiel des résultats de cette étude est publié dans la revue Pack Info - Fellah Conseil (2005).

Ces données ont permis de calculer les déchets produits par une culture donnée et par hectare. Les quantités de déchets produites à l'échelle nationale par les cultures sous serre sont calculées sur la base de la superficie totale occupée par ces cultures.

Les analyses effectuées au laboratoire ont concerné essentiellement le carbone organique et l'azote total pour en déduire le rapport C/N. Le carbone a été analysé suivant la méthode de Walkley-Black (Allison, 1965) et l'azote total selon la méthode Kjeldhal (Bremner & Mulvaney, 1982). La fraction d'azote aminée et l'azote hydrolysable sont déterminés suivant la méthode de Bremner (1965).

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Statut de la matière organique dans les zones de grandes cultures

Pour évaluer l'évolution de la matière organique suite à une intensification agricole dans les zones de grandes cultures, deux séries de données ont été exploitées :

- les données d'évolution de la matière organique dans les sols représentatifs du périmètre irrigué des Doukkala (Tableau 1);

- les composantes dynamiques de l'azote et de la matière organique dans les sols de la Chaouia et du Tadla (Tableau 1).

Tableau 1. Évolution de la teneur en matière organique dans les types de sols

Type de sol	1987 ⁽¹⁾	1993 ⁽²⁾	1997 ⁽³⁾	1997 ⁽⁴⁾	Perte décennale
Vertisol (Tirs)*	1,99	1,50	1,22	1,22	21,7
Isohumique (Hamri)	2,48	1,47	1,11	1,01	32,6
Fersiallitique	1,84	1,02	0,85	0,83	30,7
Peu évolué (Faid)	1,53	1,35	1,02	0,91	18,1

* Les noms entre parenthèses correspondent aux appellations locales

⁽¹⁾ SASMA (1987)

⁽²⁾ Badraoui & Bouaziz (1993)

⁽³⁾ ORMVAD (1997)

⁽⁴⁾ Soudi *et al.* (1997)

La perte moyenne décennale à travers les quatre principaux types de sols varie de 18,1 à 32,6%. Les pertes se sont avérées plus élevées dans les sols sableux et dans les sols peu évolués. Ceci peut être expliqué par la faible fraction d'argile qui est susceptible de garantir une protection relative de la matière organique par association entre les colloïdes minéraux argileux. Cambardella & Elliot (1994) expliquent la perte en matière organique dans les fractions grossières par le fait que la matière organique associée à ces fractions est plus labile et donc se décompose plus facilement.

Les taux annuels de perte de matière organique par minéralisation varient de 1,9 à 3,3%. Ces deux valeurs peuvent être assimilées à des taux de destruction de l'humus ou aux coefficients de minéralisation annuelle. Ils permettent d'estimer, sur la base des équations de bilan de l'humus, les quantités annuelles en matière organique fraîche qui auraient été apportées ou restituées au sol pour éviter les déperditions observées. Ces coefficients peuvent également être utilisés dans des modèles de simulation de l'évolution de la matière organique.

Malgré les liens constitutionnels entre la matière organique et certains propriétés intrinsèques du sol, comme sa teneur en argile, l'histoire culturale et le degré d'intensification agricole ont des effets plus marqués sur la dynamique de la matière organique.

Ceci est illustré par le tableau 2 relatant les données d'analyses de quelques composantes dynamiques de la matière organique.

Tableau 2. Comparaison de quelques paramètres dynamiques de la matière organique entre une région d'agriculture pluviale (Chaouia) et un périmètre irrigué soumis à intensification agricole (Tadla) (Soudi, 1989 ; Soudi *et al.*, 1990)

Paramètres	Sol IVT ⁽¹⁾ (0-10 cm)	Sol IVC ⁽²⁾ (0-11 cm)
N-organique (g/kg)	1,4	2,2
C-organique (g/kg)	13,0	23,3
N-hydrolysable (mg/kg)	915,6	1192,0
N-aminé total (mg/kg)	428,8	503,4
Ammonium fixé (mg/kg)	71,3	120,8

⁽¹⁾IVT: sol isohumique à caractère vertique dans le périmètre de Tadla.

⁽²⁾IVC: sol isohumique à caractère vertique dans la Chaouia

Dans deux sols, pédogénétiquement identiques, on constate que le sol du Tadla est plus pauvre en matière organique et en azote. Sa mise en valeur intensive n'est pas accompagnée d'une gestion adéquate des résidus de culture. En effet, comme dans la plupart des périmètres irrigués, et particulièrement le Tadla et les Doukkala à vocation betteravière, les résidus de récolte sont exportés des parcelles. Ajoutons que la température et l'irrigation assurent des conditions thermiques et hydriques optimales pour la minéralisation. Ce phénomène est amplifié par les travaux de sol fréquents qui augmentent l'accessibilité de la matière organique à la biodégradation. Les faibles teneurs en azote chimiquement hydrolysable et en acides aminés dans la zone irriguée de Tadla, montrent une tendance à l'épuisement de la forme facilement biodégradable de l'azote organique. En effet, les faibles restitutions des résidus de récolte ne permettent pas une ré-alimentation de ces pools de matière organique. La faible teneur en ammonium non échangeable du sol IVT comparé à son homologue de la Chaouia, demeure aussi un excellent indicateur de la mise en valeur intensive. En effet, le processus de nitrification intense en sol irrigué et la mobilisation importante d'azote minéral déplacent l'équilibre vers la libération de l'ammonium fixé dans les positions interfoliaires des argiles. Cette comparaison confirme que le type pédologique du sol ne peut, à lui seul, expliquer les tendances d'évolution de la matière organique et que le degré d'intensification et le mode d'exploitation du sol ont un impact non négligeable.

3.2. Résidus de cultures pour le cas des grandes cultures

La figure 1 montre les quantités de matière organique fraîche restante à la surface du sol après différents précédents culturaux. La quantité maximale de résidus laissée à la surface du sol par la culture du blé est de 2,37 t/ha suivie de 1,41 t/ha pour la betterave à sucre et de seulement 0,43 t/ha pour le cas du maïs grain. Les autres cultures occupent des places

intermédiaires. Ces quantités ne restent pas intégralement sur le sol, car une grande partie est exportée hors parcelles surtout pour le cas des feuilles et collets de la betterave. Si on imagine que la totalité de ces matières sont enfouies dans le sol, on peut calculer sur la base du taux moyen annuel de minéralisation de l'humus estimé plus haut, qui est de l'ordre de 2,55, d'une teneur moyenne des sols étudiés en matière organique de 1,5% et d'un taux d'humification maximal de 40%, des taux de compensation de l'humus détruit annuellement qui sont de 84% pour le blé, de 50% pour la betterave sucrière et de 15% pour le maïs.

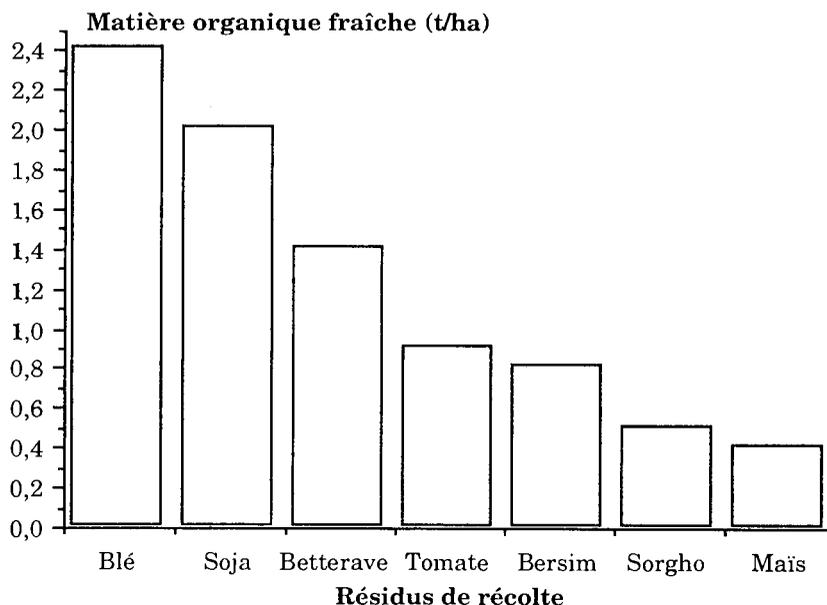


Figure 1. Quantités de résidus de récolte laissées en surface par les principales cultures dans la région des Doukkala

Dans le but d'examiner l'aptitude d'humification des matières organiques fraîches restituées, il a été procédé à l'analyse du carbone organique dans les différents résidus de récolte (Tableau 3).

Tableau 3. Teneur en carbone organique et en azote total des résidus de récolte laissés à la surface du sol

Paramètre	Blé	Betterave	Maïs	Sorgho	Bersim	Tomate*	Soja
C-org (%)	45,5	33,2	35,7	35,7	26,2	26,1	35,6
N-org (%)	0,73	1,79	1,57	1,18	1,62	1,34	2,02
C/N	62,33	18,55	22,77	30,25	16,17	19,48	17,62

* plein champ

Ainsi, il s'est avéré que les résidus de la culture du blé présentent la valeur maximale de 45,5% de carbone contre 35,6% pour le soja; 33,5% pour le maïs et 3,2% pour la betterave sucrière. Ces analyses permettent de classer les résidus selon leur pouvoir humificateur qui est proportionnel à leur teneur en Carbone. On peut en déduire que les résidus de récolte ayant un C/N élevé peuvent immobiliser une partie de l'azote minéral résiduel (Tisdale & Nelson, 1966 ; Ocio *et al.*, 1991). Ceci pourrait être considéré comme avantageux dans la mesure où l'azote minéral, surtout sous forme nitrique, échappe à la lixiviation suite aux pluies hivernales percolantes.

En somme les bonnes pratiques agricoles à adopter dans ces zones de grandes cultures pour le maintien du niveau de la matière organique des sols, résident dans la restitution des résidus de récoltes au sol et l'adoption de la méthode de labour minimum. Cette pratique conservatoire de la matière organique est développée par Mrabet & Beqqali (2005).

3.3. Statut de la matière organique dans les sols de cultures conduites sous serre

Les sols soumis à des cultures sous serre sont, dans la plupart des cas, légers et dominés par une fraction sableuse. Ces sols ont généralement une teneur faible en matière organique variant de 0,8 à 1,4%. Les conditions hydriques et thermiques, en conditions sous serre, sont très favorables à la minéralisation de la matière organique. En effet, il a été constaté, notamment dans la région du Souss-Massa, que le fumier apporté à une dose de 60 ou 80 tonnes/ha se trouve totalement décomposé après un cycle de culture. Cette pratique d'application de dosées élevées de fumier présente des avantages et des inconvénients. Les avantages résident dans :

- l'enrichissement du sol en matière organique et, par conséquent, l'amélioration de ses propriétés physiques (capacité de rétention en eau), physico-chimiques (rétention de cations) et chimiques (libération des éléments nutritifs) ;
- la production de CO₂ pouvant être bénéfique pour la photosynthèse.

Toutefois, un certain nombre d'inconvénients sont liés à l'application du fumier frais:

- la dissémination des agents phyto- pathogènes et des graines des plantes adventices;
- la libération rapide de grandes quantités d'azote ammoniacal susceptible, dans les conditions sous serre, de se nitrifier et de contribuer à la lixiviation des nitrates vers les eaux souterraines. Ce risque est d'autant plus probable que la plupart des agriculteurs ne comptabilisent pas la quantité d'azote minéral fournie par le fumier dans leur plan de fertilisation.

Comme il sera mentionné plus loin, la pratique permettant de tirer profit des avantages du fumier et d'anéantir ses inconvénients réside dans son compostage.

3.4. Évaluation des problèmes liés aux restes de cultures conduites sous serre

Selon les données de 2003-2004 recueillies auprès de l'Association des Producteurs de Fruits et Légumes (APEFEL), la superficie des primeurs s'élève à environ 30.000 ha. La zone sud, en particulier le Souss-Massa, a la part majoritaire. Pour la culture du bananier, la superficie totale s'élève à près de 5 000 ha dont plus de 60% dans la région du Souss-Massa.

Contrairement aux grandes cultures, les primeurs produisent des quantités importantes de déchets qui s'accumulent dans les entourages immédiats des exploitations ou sont transportées plus ou moins loin dans des dépôts sauvages. Il en résulte des nuisances : la détérioration de l'esthétique du paysage, la constitution des foyers de contamination par les agents phytopathogènes et la dissémination des agents pathogènes lors du transport d'un point à l'autre.

Ces déchets sont aussi souvent vendus particulièrement pendant les années sèches comme aliments de bétail. Cette pratique engendre à son tour trois risques majeurs :

- le risque d'intoxication du bétail par les résidus de pesticides qui peuvent être transférés dans les produits laitiers, mais on ne dispose pas de données précises à ce sujet et aucune alerte n'a été relevée,
- 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.

Ces problèmes générés par les déchets de cultures constituent également une entrave au processus de certification des systèmes de production des fruits et des légumes. En effet, quand on considère la composante environnementale liée aux déchets, un certain nombre de questions doivent être réglées et en priorité dont l'obligation de mettre en œuvre un plan de gestion des déchets (EUREPGAP, 2004).

3.5. Quantités de déchets de cultures sous serre

Lorsque les déchets des grandes cultures comme la betterave sucrière ou les céréales génèrent de faibles quantités unitaires (par ha) de déchets qui sont (et doivent être) restitués au sol pour maintenir l'équilibre du pool organique, les cultures maraîchères en particulier celles qui sont pratiquées sous abri-serre suivies du bananier, génèrent des quantités importantes de déchets.

Comme précisé dans l'approche méthodologique, les quantités de déchets de cultures produites par hectare ont été estimées en recoupant différentes sources. Le tableau 4 en relate les valeurs extrêmes et moyennes.

Les quantités de déchets produites par ces cultures sont très importantes. Elles varient significativement en fonction du niveau de production, de l'écoulement des produits et de leur destination (exportation, extraction des semences, etc.). Par exemple, les producteurs de semences de tomate enregistrent une quantité de déchets (feuilles, tiges et fruits) pouvant atteindre 200 tonnes/ha.

Les valeurs moyennes rapportées dans le tableau 4 sont proches de la fourchette 40 - 60 tonnes/ha rapportée par le Ministère d'Agriculture et d'Alimentation d'Ontario pour le cas de la tomate (OMAF, 2004).

Tableau 4. Quantités unitaires de déchets organiques des cultures sous serre

Culture	Valeurs extrêmes (t/ha.an)	Valeurs moyennes (t/ha.an)
Tomate	50 - 70	60
Haricot vert	20 - 30	25
Poivron vert	30 - 60	45
Piment fort	20 - 60	40
Courgette	25 - 30	30
Concombre	25 - 30	30
Melon	30 - 40	35
Bananier	40 - 50	45

Sur la base de ces valeurs moyennes et des quantités de déchets produites et des superficies de cultures, on peut estimer les quantités totales de déchets produites dans la région sud (essentiellement dans le Souss-Massa) et la région nord (Tableau 5).

Il ressort de ces données que les cultures de fruits - légumes, conduites sous serre, laissent un total de 666.362 tonnes de déchets/an à l'échelle nationale. La zone sud, et en particulier la région du Souss-Massa, représente une proportion importante.

Cette quantité est candidate à une hausse d'au moins 30% en considérant toutes les autres cultures de fruits et légumes. Tout en restant dans une fourchette raisonnable, on peut tabler sur au moins 1 million de tonnes de déchets de cultures sous serre (feuilles, tiges, troncs et fruits résiduels).

Tableau 5. Quantités totales de déchets produits dans la région sud (essentiellement dans le Souss-Massa) et la région nord

Culture	Zone Nord Déchets (t/ha.an)	Zone Sud Déchets (t/ha.an)	Quantité totale (tonnes/an)
Tomate	24.000	231.000	255.000
Concombre	3.390	4.260	7.650
Courgette	5.520	35.220	48.390
Haricot vert	850	28.052	77.292
Piment fort	2.000	6.400	8.400
Poivron	2.250	32.850	35.100
Melon	44.765	4.305	84.170
Banancier*	68.100	175.400	243.500
Total	148.875	517.487	666.362

* Les déchets de bananier sont générés en moyenne après une période de 18 mois

La quantité de 666.360 tonnes/an est équivalente à une production annuelle de déchets ménagers par près de 2,3 millions d'habitants. Il est important de rappeler que ces quantités n'incluent ni les déchets d'arboriculture fruitière et notamment ceux des agrumes dont les quantités sont également importantes, ni les déchets de cultures maraîchères conduites en plein champ, ni les autres cultures.

3.6. Options de traitement et de valorisation des déchets organiques de cultures

Globalement, tous les producteurs sont conscients de la problématique des déchets de cultures et de l'urgence de trouver des solutions adaptées. Certains producteurs ont déjà initié le compostage des déchets de cultures maraîchères et leur co-compostage avec le fumier. Ces initiatives sont louables, mais malheureusement elles ne répondent pas, à ce stade, aux exigences environnementales et de qualité.

Les limitations suivantes ont été relevées:

- Les plates-formes ne sont pas toujours imperméabilisées, ce qui engendre un risque de lixiviation des polluants notamment azotés vers la nappe.
- Le processus de compostage et son monitoring ne sont pas bien maîtrisés.
- La qualité de compost n'est pas soumise à une analyse basée sur des normes.
- La disposition spatiale des andains est plus ou moins aléatoire.
- Les risques de contamination sont liés à la juxtaposition des tas en fermentation, des tas en maturation et des déchets bruts, etc.

Cela montre la nécessité d'un encadrement des producteurs de fruits légumes dans le domaine des déchets selon l'approche Éco-conseil.

3.7. Options de traitement et de valorisation à promouvoir

Il existe plusieurs options d'élimination et/ou de traitement-valorisation de ce type de déchets :

- La mise en décharge,
- Le séchage et le brûlage (incinération),
- Le compostage et la valorisation de compost,
- La valorisation du CO₂ du compostage,
- La valorisation énergétique,
- etc.

Les recommandations actuelles concernant la gestion intégrée et durable des déchets (GIDD) et les processus de réglementation proscrivent la mise en décharge et l'incinération. Elles affichent en tête de la hiérarchie le recyclage, le compostage et la valorisation de l'énergie. Le compostage est actuellement considéré, pour le cas de tous les déchets organiques compostables, comme étant la filière écologiquement durable.

3.8. Compostage

Le compostage est le processus de biodégradation aérobique des diverses matières organiques qui aboutit à la formation du compost. Celui-ci est un produit organique stable, riche en substances humiques et indemne d'agents pathogènes. Il a aussi la particularité de libérer de manière progressive les éléments nutritifs. Il peut être destiné à plusieurs usages : l'amendement des sols pour l'amélioration de leur fertilité physique et chimique, l'utilisation comme composante de substrats de cultures ou de pots de pépinières forestières ou ornementales, la réhabilitation des sols dégradés, etc. Récemment, il a été démontré que le compost peut avoir un effet biofumigant par la suppression des agents pathogènes par des mécanismes d'antagonisme et de production d'antibiotiques ou agents inhibiteurs par des organismes saprophytes.

Dans le but d'aider les agriculteurs à adopter cette filière de compostage, une fiche technique détaillée a été produite et relate l'essentiel requis pour une bonne conduite du compostage. Cette fiche contient toutes les bases techniques requises pour réussir le compostage : démarrage, suivi, qualité du compost, options de valorisation, etc. Cette fiche est en cours de publication dans le Bulletin de Transfert de Technologie N° 129 (Soudi, 2005). Cette publication pratique sera diffusée à tous les agriculteurs et les techniciens et cadres oeuvrant dans le secteur des primeurs.

3.9. Autres options possibles de valorisation du processus de compostage

3.9.1. Approvisionnement des serres en CO₂

Pour les plantes, le CO₂ est aussi essentiel que l'eau, la lumière, la température et les éléments nutritifs. En plus, l'approvisionnement de la serre en CO₂ conditionne de manière significative la production. On sait que 50 200 tonnes d'air génèrent 24 tonnes de CO₂ pour la production de 70 tonnes de fruits (Kretchman & Howlett, 1970). La demande en CO₂ en conditions de serre varie de 40 à 80 g/m².jour (Levanon *et al.*, 1986). Ainsi, il a été démontré qu'un enrichissement de l'enceinte de serre en CO₂ permet d'obtenir un accroissement de rendement allant de 20 à 30%.

En dehors des pratiques traditionnelles d'enrichissement de CO₂ par épandage de diverses matières organiques comme le fumier ou autres, on peut capter et valoriser le CO₂ émis par le compostage lors de la phase de fermentation active. En effet, on estime une production de CO₂ de 10 à 50 g/t de compost (Saxton, 1978).

Il est clair que cette option requiert un dispositif de serres étanche et une maîtrise de flux selon les stades phénologiques de la culture. Elle nécessite aussi l'installation de bio-filtres (à base de sol et/ou de copeaux de bois) qui piègent un certain nombre de composés gazeux toxiques et/ou de mauvaises odeurs. Plusieurs dispositifs ont été mis en place à travers le monde. La recherche d'optimisation du système est en développement.

3.9.2. Compostage et chauffage des serres

Le compostage est aussi producteur de chaleur (énergie thermique) à partir de la dégradation des liaisons carbonées. Cette chaleur peut être valorisée pour le chauffage des serres. Les bactéries thermophiles produisent environ 4,03 kWh/kg d'O₂ utilisé (Evans, 1983).

En somme, le compostage des déchets de cultures maraîchères et/ou du fumier est à la fois une option d'élimination et de valorisation multiple. Il s'agit d'une filière de gestion intégrée des déchets.

En 1997, on comptait déjà en France 106 plates-formes de compostage permettant de traiter environ 550 000 tonnes de déchets (équivalent à peu près la production actuelle des déchets de cultures sous serre au Maroc) pour aboutir à environ 232.000 tonnes de compost. Le volume actuel doit être beaucoup plus grand suite aux textes réglementaires mis en place et au processus de certification.

4. CONCLUSION

Le constat important et commun aux sols marocains réside dans la faiblesse du niveau de matière organique des sols. Ceci est attribué à la forte minéralisation et à l'intensification agricole associée à une mauvaise gestion des résidus de récolte. Cette étude a montré aussi que la problématique des résidus de cultures ne se pose pas de la même manière selon qu'il s'agit de grandes cultures ou de cultures conduites sous serre. Les options de gestion des deux situations sont dictées par la nature et la quantité des déchets générés et par les problèmes d'ordre phytosanitaire.

On peut retenir que la pratique à adopter pour les grandes cultures réside dans la restitution et l'incorporation des résidus dans le sol pour éviter des déperditions de matière organique. D'autres pratiques conservatoires comme le labour minimum ou celles qui consistent à favoriser le développement racinaire sont également recommandées.

Pour le cas des déchets de cultures conduites sous serre qui sont produits en grandes quantités, la restitution est pratiquement impossible. Ces déchets génèrent en plus un risque de dissémination des agents pathogènes. L'option qui s'avère techniquement acceptable et écologiquement justifiable est celle du compostage de ces déchets ou de leur co-compostage avec le fumier. Cette option permet à la fois d'éliminer environ 50% de la masse initiale de déchets et de valoriser le compost comme produit d'amendement organique des sols ou comme composante de substrats de cultures.

Cette étude montre clairement qu'il n'y a pas de « recettes » standards quant à la gestion des restes de cultures. Les options doivent être adaptées au contexte de production. En effet, les grandes cultures et les cultures maraîchères conduites en plein champ génèrent en moyenne 5 à 10% de la production par hectare après un cycle cultural alors que les cultures sous serre génèrent entre 30 et 40% du tonnage produit par hectare sous forme de fruits.

Il est ainsi recommandé de produire des fiches techniques ou d'éco-conseils adaptées aux différentes situations. Cela requiert au préalable la formation des éco-conseillers dans le domaine de gestion de la matière organique en général. Pour le cas des déchets horticoles, il est devenu nécessaire d'élaborer une stratégie nationale qui intégrera aussi bien les déchets organiques que les déchets non organiques comme les films plastiques de toiture et de paillage, les fils de fer et ficelle, etc. En effet, les réglementations de plus en plus strictes inciteront, dans le moyen terme, à l'adoption de matériaux biodégradables qui s'ajouteront, après usage, aux déchets organiques usuels.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Badraoui M & Bouaziz A (1993) Diagnostic de la fertilité des sols dans les Doukkala (Projet MAMVA/ORMVAD)
- Badraoui M, Soudi B, Merzouk A, Farhat A & M'hamdi A (1998) Changes of soil qualities under pivot irrigation in the Bahira region of Morocco: *Salinisation. Advances in GeoEcology* 31: 503-508
- Cambardella CA & Elliott ET (1994) Carbon and nitrogen dynamics of soil organic matter fractions from cultivated grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 123-130
- Kretchman DW & Howlett FS (1970) CO₂ enrichment for vegetable production. *Transactions of ASAE* 13(2): 2
- Mrabet R & Beqqali M (2005) Le semis direct, technique conservatoire de la qualité du sol. voir pp. 121-140
- Naman F, Soudi B & Chiang CN (2001) Impact de l'intensification agricole sur le statut de la matière organique des sols en zones irriguées semi-arides au Maroc. *Étude et Gestion des Sols* 8(4) : 269-277
- ORMVAD (1997). Diagnostic réalisé par l'ORMVAD
- SASMA (1987). Étude de diagnostic de la fertilité des sols des Doukkala.
- Soudi B (2005) Fiche technique de compostage des déchets agricoles. *Bulletin de transfert de Technologie N° 129*
- Soudi B (2005) Les déchets de cultures sous serre : position du problème et options de gestion. *Rapport préparé pour la FAO dans le cadre du projet FAO/TCP/MOR/3001 «Appui à la lutte contre le virus des feuilles jaunes en cuillère (TYLCV) de la tomate et son vecteur»*
- Soudi B & Chiang CN (1989) Nitrogen mineralization in cultivated soils of semiarid areas of Morocco. (in french) *Comm. Séminaire sur les sols céréaliers, 3-5 Oct. Tiaret (Algérie)*
- Soudi B, Chiang CN & Zerouali M (1990) Study of seasonal variations of soil mineral nitrogen and of combined effects of soil moisture and temperature on nitrogen mineralization (in french). *Actes Inst. Agron. Vét. (Maroc)* 10: 29-38
- Soudi B, Sbai A & Chiang CN (1990) Nitrogen mineralization in semi-arid area of Morocco: Rate Constant variation with Depth. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54: 756-761
- Tisdale SL & Nelson WL (1966) Soil and fertilizer nitrogen. In «*Soil Fertility and Fertilizers*» Ed. New York. McMillan. Pub Co 694 p.

Les résultats relatés dans cet article sont le fruit de plusieurs travaux et projets:
 Projet CUD/UCL-IAV. Impact de l'intensification agricole et qualité des sols et des eaux ;
 Projet EFCA/ENA-IAV-FUSAGx ;
 Projet FAO/TCP/MOR/3001 «Appui à la lutte contre le virus des feuilles jaunes en cuillère (TYLCV) de la tomate et son vecteur».