

Gestion de la matière organique en culture sous abri

F. Bressoud

INRA, Domaine expérimental Alénya- Roussillon (66)

En France, plus de 5000 ha d'abri (tunnels et chapelles) permettent en climat protégé la culture de salades en hiver combinée à d'autres légumes l'été. Ce maraîchage, très productif, correspond à un usage intensif du sol intéressant pour étudier l'évolution des facteurs de fertilité. Ainsi, durant presque 9 ans, une expérimentation a été conduite à l'INRA d'Alénya afin de suivre la dynamique de la matière organique endogène et évaluer l'intérêt d'apports réguliers de compost, tant sur les propriétés du sol que sur le comportement des 18 cultures de salade et tomate successives.

Deux types de produits ont été testés, un compost commercial conditionné en bouchon, formulation onéreuse mais pratique, fréquemment utilisée en maraîchage, ainsi qu'un compost de déchets verts, gisement important très compétitif en prix mais aux propriétés mal connues.

Dispositif expérimental

L'expérimentation est conduite de 2002 à 2010, avec reconversion en agriculture biologique d'un abri maraîcher de 450 m² au sol sablo-limoneux peu structuré, assez pauvre en matière organique (1.3%). Le système de culture consiste en une succession salade-tomate en 1^{ère} année, puis 2 salades et désinfection solaire¹ la 2^{ème} année avant de reprendre un nouveau cycle.

On compare à un témoin sans apport (T) l'incorporation des 2 amendements :

- Un compost de déchet vert² à la dose de 24t/Ha/an (DV24)
- Un produit composite du commerce³, à la dose usuelle de 4 t/Ha/an (VG4) et à celle de 13 T/Ha/an (VG13), correspondant sensiblement au même apport en matière organique et éléments minéraux que le déchet vert DV24 (Figure 1).

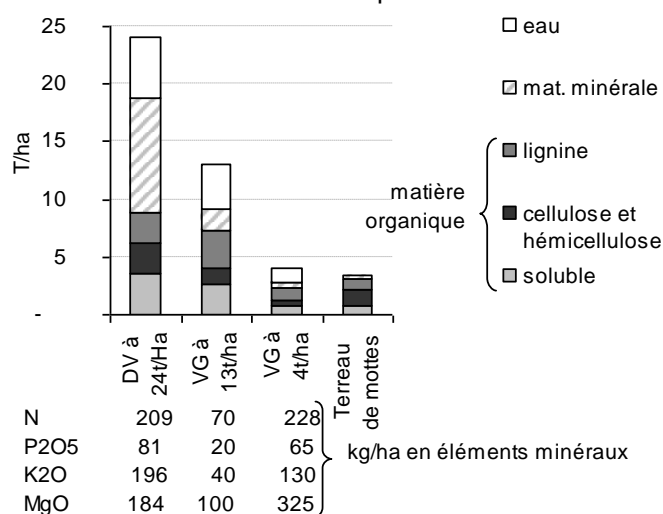


Figure 1: Composition organique et minérale des différents apports

La pratique maraîchère de plantation en mottes correspond pour tous les traitements à l'apport supplémentaire par le terreau d'environ 1.5t MO/Ha/culture, soit 3t/Ha/an.

La fourniture azotée⁴, déterminée pour chaque traitement à l'aide de mesures par bandelette nitrate⁵, ne devra pas excéder la moitié des besoins des cultures, afin de permettre le démarrage des cultures sans masquer la contribution de la minéralisation.

Du fait des fortes hétérogénéités climatiques sous abri, combinées à des variations spatiales pédologiques et techniques (géométrie des irrigations, historique de la parcelle,...), les mesures ont

¹ consiste à couvrir la parcelle avec un paillage transparent en cours d'été pour élever la température du sol afin de détruire les pathogènes telluriques

² Broyat de déchets verts (bois de taille, élagage, débroussaillage, tonte de pelouse) compostés 6 mois (plate-forme de Saint Cyprien (66))

³ mélange de tourteaux de café (55%), fumier de bergerie (30%) et poussières de laine (10%) co-compostés (Phalippou-Frayssinet)

⁴ par de la farine de plume hydrolysée (14% N)

⁵ Bandelette Merck avec lecture au réflectomètre RQFlex

été localisées dans la zone centrale de 200 m² la plus uniforme, scindée en quart, avec pour chaque traitement 3 parcelles successives de mesure de 3m² constituant une maille élémentaire de distribution de l'eau par l'irrigation.

Sur ces 12 placettes sont mesurés tout au long de l'expérimentation :

- Les tensions en eau à 20 et 30 cm (2 fois/par semaine) pour l'ajustement des irrigations
- L'humidité et la richesse du sol en nitrates par prélèvements sur 0-30cm et 30-50cm (en encadrement des changements d'occupation du sol)
- Les rendements des cultures, leurs calibres, le taux et la notation des causes de déchets
- La production en matière sèche ainsi que les teneurs en d'azote d'un échantillon représentatif de plantes à la récolte pour chaque culture, ainsi qu'en phosphore, potasse et magnésie une partie d'entre elles.

Les températures d'air en milieu d'abri et de sol aux 4 extrémités de la zone de l'essai sont enregistrées journalièrement.

En début (2002), milieu et fin (2010) d'expérimentation sont également effectués :

- des incubations des sols, afin de mesurer les cinétiques de minéralisation de carbone et d'azote (3 répétitions).
- des profils de sol en fin de culture de laitue pour caractériser la structure du sol, mesurer les densités apparentes à 3 profondeurs différentes (7, 17 et 35 cm) et cartographier la répartition des racines en profondeur
- des fractionnements granulométriques des sols, sur les échantillons de densité de sol et sur des prélèvements effectués sur 0-30 cm dans l'ensemble des placettes en 2001 et 2010 (3 répétitions).

Enfin en 2010, le bilan final intègre sur l'ensemble des placettes des mesures supplémentaires pour évaluer les changements éventuels induits après 9 années d'apport d'amendement :

- infiltrométrie⁶, permettant d'apprécier la macroporosité du sol (4 répétitions x 2 placettes)
- biomasse microbienne sur des échantillons de sol de l'horizon 0-30 cm (3 répétitions)
- pénétrométrie (6 répétitions par placettes)

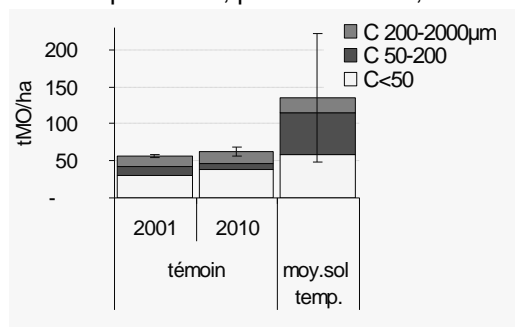
Les amendements organiques ont été décomposés en 5 fractions (solubles, hémicellulose, cellulose, lignine et cutine et minéral inerte) , et mis en incubation (90 jours à 30°C) en 2002 pour connaître leurs cinétiques de minéralisation de carbone et d'azote.

Résultats après 9 années d'expérimentation

En l'absence d'apport organique, la fertilité du sol décroît discrètement

Les systèmes de culture maraîchers méditerranéens sous abri cumulent des conditions pédoclimatiques favorables à une forte activité biologique (sols chauds et humides, avec une température moyenne annuelle de 23°C), et des passages fréquents d'outils rotatifs qui fragmentent beaucoup la terre. Ces facteurs sont favorables à une dégradation intense de la matière organique du sol, avec en outre des systèmes culturaux sans aucune restitution végétale au sol hormis les racines. Avec environ 9gC/Kg de sol (soit 60tMO/Ha) au lieu d'environ 20gC/Kg pour un sol moyen de climat tempéré (Thuriès, 2000), le sol est effectivement assez pauvre en matière organique. Cependant, sans aucun apport pendant 9 ans, on n'observe aucune perte, bien qu'au minimum 10% de la matière organique endogène ait alors été minéralisée.

En effet, une vingtaine de tonnes de tourbe peu dégradable ont été amené lors des plantations en mottes. La perte de matière organique endogène est ainsi compensée quantitativement. Le fractionnement montre que la matière organique de ces sols correspond en proportion notable à des formes grossières, libres, peu décomposées, à C/N plutôt élevé, avec à l'opposé un déficit sur les fractions plus fines, plus anciennes, en cours de transformation ou liées au sol (Figure 2).



⁶ avec méthode simplifiée beer-can (Capowiez)

Figure 2 : Evolution selon 3 fractions de la matière organique du sol en l'absence d'apports de compost et comparaison avec les valeurs moyennes de sols en climat tempéré

Nous faisons l'hypothèse que le statut organique de ces sols, initialement marqués par le climat méditerranéen, est également influencé par le système de culture en maraîchage sous abri mis en place vers 1980, qui accélère les dégradations mais aussi l'accumulation de matière organique exogène peu évolutive, et influe sur ses caractéristiques.

Ainsi, les biomasses mesurées dans ce sol sont faibles, avec une activité biologique médiocre, conséquence probable de ressources trophiques faibles. Cependant, les suivis de minéralisation du stock organique, soit par incubation de sol, soit par calcul des bilans, montrent que grâce aux conditions microclimatiques très favorables, on atteint en cumul des libérations conséquentes d'azote, de l'ordre de 400kgN-NO₃/ha/an. Le sol contribue ainsi notablement à l'alimentation des cultures, en assurant plus de 80% des besoins. Cependant, avec comme seuls apports le terreau peu dégradé, cette dynamique commence à décroître au bout de 5 ans, comme l'illustrent la baisse de la minéralisation et en conséquence des exportations azotées par les cultures, en situation de carence à partir de 2005 ().

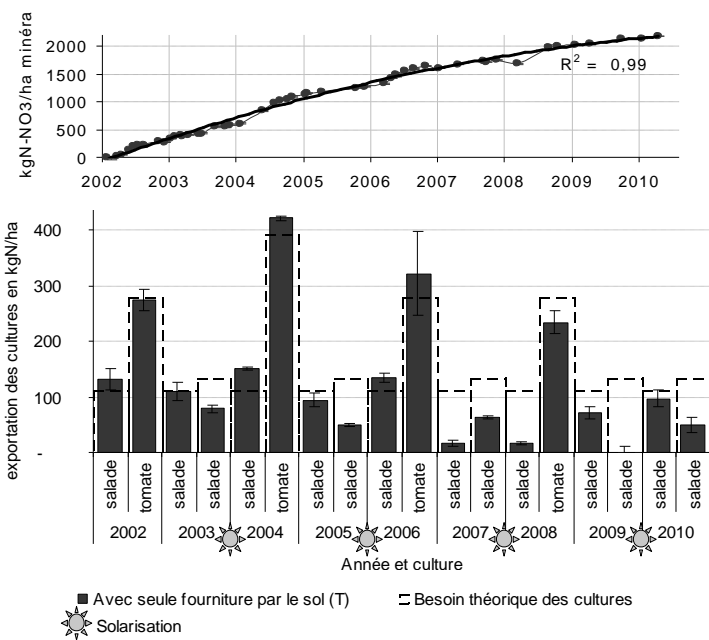
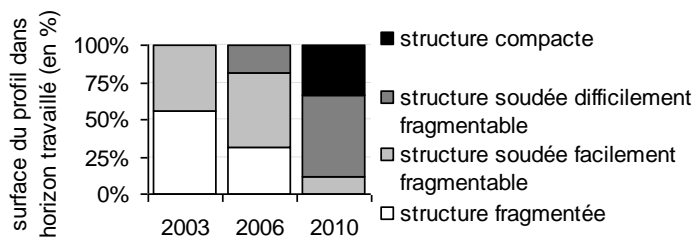


Figure 3 : Evolution de la minéralisation calculée du sol et de l'exportation d'azote mesuré dans les cultures (en KgN/Ha)

On peut toutefois remarquer que la présence d'une solarisation dans le cycle de culture permet de reconstituer des stocks d'azote pour la salade d'automne suivante, qui bénéficie ainsi d'une meilleure alimentation sans apport supplémentaire.

On constate par ailleurs une dégradation de la stabilité structurale, qui pourrait s'expliquer par les faiblesses conjuguées de la décomposition et de la fraction fine liée au sol (Houot , 2009). En effet, les profils culturaux montrent au fil des années sans apport une augmentation de la prise en masse du sol durant les cultures de salade (Figure 4), avec une structure finale assez compacte qui en 2010 a fini par restreindre la prospection racinaire en profondeur.

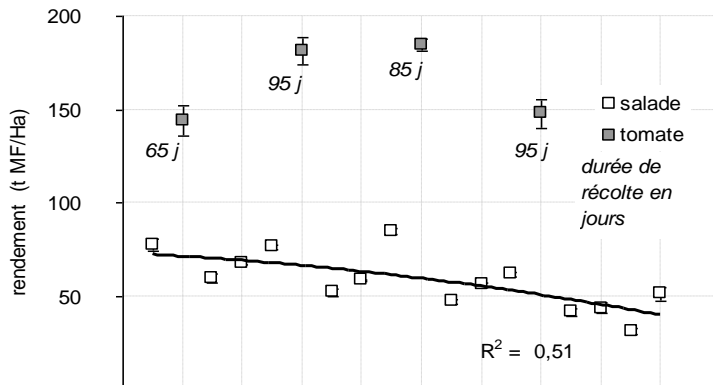
Figure 4 : Evolution du type d'assemblage de mottes observé dans les profils de sol en fin de culture de salade



Ces évolutions sont assez peu perceptibles, mesurables à partir d'analyses courantes de sol, mais finissent tout de même par avoir une incidence sur les cultures peu fertilisées, comme le montre la

diminution progressive de productivité en salade comme en tomate (Figure 5), avec les remontées cycliques lié à la solarisation que l'on a déjà signalé ci dessus.

Figure 5 : Evolution du rendement des cultures successives (en t MF/ha récoltées)



La néce 2002 2003 2004 2005 2006 2007 2008 2009 2010 2011 e sous peine de pertes de fertilité que l'intensification des systemes de cultures sous apri permet de bien mettre en évidence, dans un laps de temps assez court au regard d'autres systèmes (Diacono, 2010).

Efficacité des apports de composts pour l'entretien de la fertilité du sol

En maraîchage, la référence d'utilisation était le fumier dont les gisements ont disparus avec l'élevage. La plupart des producteurs utilisent actuellement des amendements d'assemblage, à base de sous-produits animaux et végétaux co-compostés, vendus granulés et ensachés. Ils sont épandus à raison de quelques tonnes par hectare, avec une fréquence variable du fait du coût assez élevé. Les amendements de masse en vrac, comme les composts de déchets verts qui sont une ressource intéressante (Leclerc, 2008), sont encore aujourd'hui peu utilisés du fait de leur nouveauté et du manque d'équipement des maraîchers.

Des produits qui se comportent différemment

L'évolution de ces 2 types de produits apportés aux mêmes doses d'apport tant organique que minéral (VG13 et DV24) permettent de différencier leur comportement, tant du point de vue de leur décomposition que de l'accumulation de matière organique dans le sol.

Les 2 composts se minéralisent différemment en incubation au laboratoire, le compost commercial libérant rapidement près de 20% de son azote, tandis qu'il y a une légère réorganisation initiale avec prélèvement d'azote de l'ordre de 1 à 2 kgN/t de compost dans le milieu pour le déchet vert, puis très lente minéralisation. On retrouve bien ce comportement en reconstituant la minéralisation au champ par calcul à l'aide de bilans hydriques et azotés (Figure 6a).

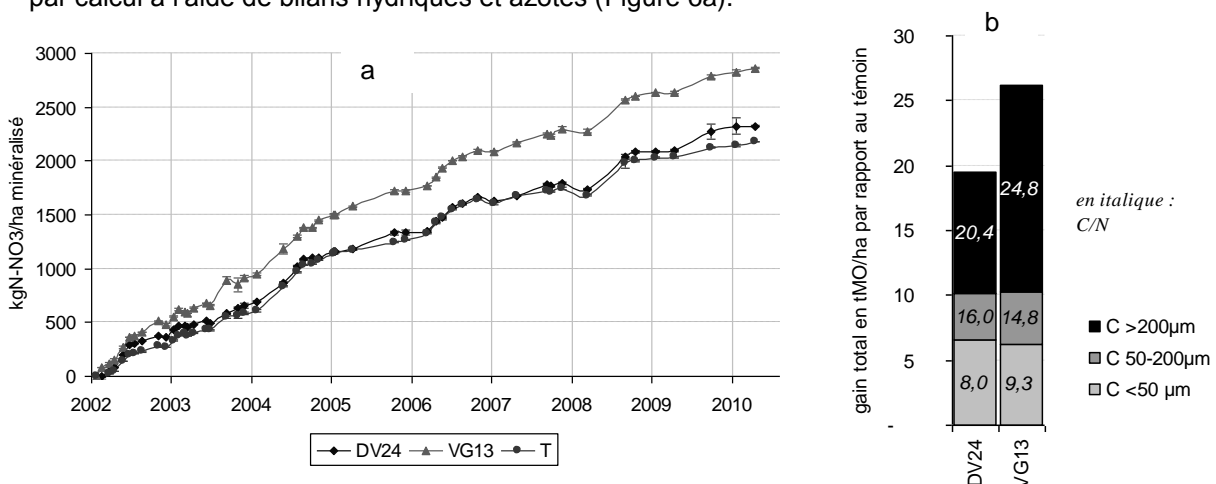


Figure 6 : (a) Minéralisation d'azote calculée et (b) gain de matière organique mesuré dans le sol par rapport au témoin selon le type de compost

Le gain net de matière organique dans le sol au bout de 9 ans est d'une vingtaine de tonnes pour les traitements VG13 et DV24 soit respectivement 45% à 35% du carbone apporté, avec en supplément pour ce dernier de nombreux fragments supérieurs à 2mm, non pris en compte dans les mesures. Les

analyses montrent également un enrichissement minéral relatif du sol, correspondant à 70-80% de l'azote et 70% du phosphore amené par les composts, probablement sous forme organique, et seulement 10% de la potasse, sans doute du fait de sa composition minérale plus mobile.

Les fractions organiques libres accumulées avec le compost de déchet vert contiennent plus d'azote que celles du traitement avec le compost commercial (Figure 6b). Les suivis de parcelle montrent après 6 à 7 ans d'apport une légère augmentation de la libération de nitrates avec le compost de déchet vert, sans doute par arrière-effet lorsque ces fractions libres entrent en dégradation, et ce gain fini par être significatif dans les incubations de sol⁷ réalisées en 2010, avec 0.7 KgN/Ha/j dégagé au lieu de 0.3 KgN/Ha/j pour VG13, le sol témoin sans apport étant lui alors à des valeurs quasi nulles.

On a également un dégagement bien supérieur de CO₂, indice d'une activité microbienne plus forte, qui s'explique notamment par une biomasse significativement plus importante après 9 années d'apports de composts de déchets verts qu'avec les autres traitements ou elle reste très faible.

La Figure 6b montre que les 2 composts enrichissent de la même manière la fraction de matière organique liée aux argiles, avec en conséquence une amélioration notable de la capacité d'échange cationique (CEC), respectivement de 1.5 pour VG13 et +2 Cmol+/Kg pour DV24, ce dernier réhaussant également le pH de 7 à presque 8.

Avec ces apports de compost, la structure de sol reste stable, sans dégradation visible au cours du temps, avec une bonne prospection racinaire des salades jusqu'à 60 cm de profondeur. Si ni les densités apparentes, ni la pénétrométrie n'ont montré de différences significatives, des tests d'infiltrométrie⁸ ont révélé une capacité de drainage significativement supérieure avec les apports de déchets verts, signe d'une porosité grossière supérieure pour DV24 peut être due à un peu plus de galeries de lombric mais aussi à de nombreux débris grossiers dans la matrice du sol.

En conclusion, la nature différente de ces 2 composts conduit bien à dose comparable à des comportements différents dans le sol. Le produit composite du commerce semble se scinder en une partie rapidement minéralisable et une partie très stable, qui reste en partie libre et inerte, tandis que le compost de déchet vert évolue peu, avec une dégradation à long terme qui active la biomasse. Son effet sur le sol est plus important, comme cela a également été vu dans d'autres situations (Dragon, 2010).

Incidence des apports de composts usuels

Les suivis des traitements DV24 et VG4 permettent dévaluer l'incidence des apports aux doses usuelles, tenant compte des contraintes économiques des 2 produits. Les incidences significatives observées par rapport au témoin sans apport sont résumés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Incidence d'apports de 2 types de compost aux doses usuelles durant 9 années

	Facteurs de fertilité du sol			Incidences sur les cultures
	chimique	biologique	physique	
24 t/ha/an de compost DV	<ul style="list-style-type: none"> - Gain de matière organique - Augmente la CEC, le stock N,P₂O₅ du sol - Léger risque de faim d'azote après épandage sur sol pauvre - Augmente après 6-7 ans la fourniture d'azote par le sol 	<ul style="list-style-type: none"> - Augmente la biomasse et l'activité microbienne - Atténuation possible après 7-8 ans de maladies du sol (Sclérotinia, Botrytis) 	<ul style="list-style-type: none"> - Évite dégradation de structure et limitation de l'enracinement de la salade - Non significatif sur la densité de sol, la résistance à la pénétration - Améliore la capacité d'infiltration pour de forts apports d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - Améliore après 6 ans la composition en azote et potasse des cultures de salades - Légère augmentation des rendements des cultures après 7 à 8 ans
4 t/ha/an de compost du commerce	<ul style="list-style-type: none"> - Apport non significatif 	<ul style="list-style-type: none"> - Apport non significatif 	<ul style="list-style-type: none"> - Évite dégradation de structure et limitation de l'enracinement de la salade - Non significatif sur la densité de sol, 	<ul style="list-style-type: none"> - Apport non significatif

⁷ Incubation de 56 jours à 28 °C

⁸ méthode beerkan

			la résistance à la pénétration	
--	--	--	--------------------------------	--

L'apport de compost du commerce a raison de 4t/Ha/an semble très peu efficient, peu de facteurs étant finalement effectivement différents du témoin sans apport.

Comme on l'a vu, à la dose massive de 24t/Ha/an, le compost de déchet vert a une incidence sur de nombreux facteurs de fertilité du sol, et dans une moindre mesure sur les cultures.

On observe des compositions significativement supérieures en N et K pour les salades au bout de 7 années, mais rien au niveau du phosphore, le sol étant par ailleurs bien pourvu.

Si les rendements diffèrent assez peu les premières années, on observe après 6 ans un arrière-effet, les rendements sur salades et tomates étant un peu supérieurs, avec même des résultats commerciaux significativement supérieur à tous les autres traitements pour la 14^{ème} et dernière salade. Il semblerait y avoir également une inflexion des problèmes de maladies telluriques sur salades, avec une légère limitation des pertes cumulées par *Sclerotinia* sp. et surtout *Botrytis cinerea* sur les 9 dernières cultures de laitues, mais non systématique.

Conclusion

Les conditions culturales et pédoclimatiques des systèmes maraîchers sous abri sont originales à bien des égards, et notamment vis à vis de l'accumulation et de la dégradation de la matière organique.

Afin d'en éclairer les fonctionnements, notamment dans le but d'aider à l'entretien ou la reconstitution d'une bonne fertilité des sols pour l'agriculture biologique, 3 modalités d'apports de compost et de doses ont été comparés avec un témoin sans entretien sur 9 années.

Ceci a permis de montrer qu'en l'absence d'apports, le terreau des mottes de plantation dans ce système masque totalement à l'analyse la perte de matière organique endogène, mais ne compense pas cette disparition. En effet, on assiste progressivement, après 5 à 6 ans, à une diminution de la minéralisation du sol et à une dégradation de sa structure, qui finit par entraver le système racinaire des cultures. En l'absence d'une fertilisation adaptée, des pertes de rendement apparaissent alors, mais dépendent du système de culture mis en œuvre. Pour les cultures estivales à forte prospection racinaire, ou derrière une période de solarisation qui permet de reconstituer les stocks du sol, elles peuvent être peu perceptibles sur le moyen terme.

Les faibles apports de matières organiques, de l'ordre de ce qui est couramment fait avec les composts commerciaux, ne suffisent pas à modifier ces tendances.

Seuls les forts apports, de l'ordre de 4 à 5 tonnes de carbone organique par an, provoquent une amélioration sur l'ensemble des facteurs physiques, chimiques, biologiques et agronomiques étudiés. Ces doses intéressantes ne sont économiquement supportables que pour le compost de déchets verts.

Les 2 produits testés, aux caractéristiques physico-chimiques assez contrastées, montrent des comportements différents. Une partie du compost commercial se minéralise assez rapidement, et les fractions accumulées se montrent en revanche plus récalcitrantes à des évolutions secondaires que le déchet vert, qui semble avoir un arrière effet intéressant, par une minéralisation tardive après quelques années de cumul. Ces différences de comportement se traduisent par des conséquences un peu différentes sur le sol et les plantes.

A 24t/Ha/an, le compost déchet verts permet le maintien d'une structure de sol plus fragmentée, avec une meilleure porosité, et une amélioration substantielle de la fertilité du sol, tant biologique que chimique. Le cumul des apports ne provoque pas d'effets dépressifs, mais au contraire au bout de quelques années une meilleure nutrition des cultures et des gains de rendements possibles en situation de restriction d'intrants.

Bibliographie

Diacono.M., Montemurro.F., Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review, Agron. Sustain. Dev. (2010) 30, 401–422

Dragon.S., Effet d'apport de différents amendements organiques sur les propriétés du sol - Bilan de 15 années d'essai en culture légumière à la SERAIL - Echo MO (2010) 81

Houot.S., Cambier.P., Deschamps.M., Benoit.P., Bodineau.G., Nicolardot.B., Morel.C., Linères. M., Le Bissonais.Y., Steinberg.C., Leyval.C., Beguiristai.T., Capowiez.Y., Poitrenaud.M., Lhoutellier.C., Francou .C., Brochier .V., Annabi .M., Lebeau.T. , Compostage et valorisation par l'agriculture des déchets urbains, Innovations Agronomiques (2009) 5, 69-81

Leclerc.B., Plumail.D., Chenon.P., Production et qualité des composts de déchets verts en France métropolitaine, Echo MO (2008) 70

Thuriès.L., Larré-Larrouy.M.C, Feller.C., Influences of organic fertilization and solarization in a greenhouse on particle-size fractions of a Mediterranean sandy soil, *Biology and Fertility of Soils* (2000) 32, 449–457