

AMENDEMENTS ORGANIQUES - Bilan de 10 années d'apports de différents produits en cultures légumières à la SERAIL

Dominique BERRY (SERAIL, Chambre d'agriculture du Rhône), Olivier DEMARLE (ISARA-Lyon), Jean-François VIAN (ISARA-Lyon), Yvan GAUTRONNEAU (ISARA-Lyon), Jean ROGER ESTRADE (INRA-INA.PG).

Ont apporté leur collaboration à l'étude : P. Defossez (Inra Laon), G. Richard (Inra Laon), D. Boitez (Inra Laon/Reims/Mons), Y. Le Bissonnais (Inra Orléans), H. Gaillard (Inra Orléans), R. Chaussod (Inra Dijon), R. Nouaïm (Semse-Inra Dijon), X. Salducci (Alma Terra), C. Chenu (Inra – Ina-PG), L. Thuriès (Phallippou Freyssinet), A. Clays (Université Lyon 1), D. Massenet (Amisol), Y. Hérody (Brda).

Fournisseurs d'amendements : 4 Vaulx Jardin (M. Mazé), TPA Fumeterre (M. Archimbaud), Phallippou Freyssinet (M. Viel), VG Sol (M. Perbet).

Financement : Oniflor, Région Rhône-Alpes, ADEME.

Le contexte de l'expérimentation

L'étude mise en place à la SERAIL (69 – Brindas) en 1995 a pour objectif d'étudier l'influence à long terme de différentes sources de matières organiques apportées à différentes doses sur la fertilité d'un sol sableux argileux sur lequel est pratiqué du maraîchage (biologique depuis 1999).

Le site de la SERAIL est situé sur la commune de Brindas, à l'ouest de Lyon (région Rhône-Alpes) à la limite Est des monts du Lyonnais. L'altitude est de 300 m. Le sol, développé sur une roche mère granitique, est de texture sablo (65 %) – limono (18 %) argileuse

(17 %) avec des argiles de type vermiculite et une tendance à l'hydromorphie hivernale.

Depuis 10 ans, le dispositif expérimental (essai bloc à 3 répétitions) compare les parcelles qui reçoivent annuellement en début de saison les apports de 5 amendements organiques différents avec un témoin sans apport d'amendement organique (1). Deux doses d'apports des amendements ont été différenciées à partir de 1999 pour rendre compte des différences de stabilité de la matière organique des produits (voir encadré ci-dessous).

AMENDEMENTS ORGANIQUES

Fumiers de bovin :	un fumier frais (Fumier frais) un fumier déshydraté, granulé (Fumier déshydraté)
Déchets verts péri-urbains	:un compost de déchets verts (Compost vert)
Bois et écorce :	un compost de bois et écorce de feuillus, enrichi de fumier de volaille, lisier et algues (Compost écorce)
Tourteaux végétaux :	un compost de tourteaux de café enrichi de fumier et chiquettes de mouton (Compost tourteaux café)
Témoin :	sans apport d'amendement organique

DOSES D'APPORTS : elles sont calculées de 2 manières

- 1. Equivalent Carbone (EqC) :** la dose est calculée en fonction de la richesse en carbone de l'amendement pour fournir l'équivalent en carbone de 30 tonnes de fumier frais.
- 2. Equivalent « humus » (EqH) :** la dose est calculée en fonction du potentiel de rendement en matière organique stable de l'amendement, potentiel défini par son Indice de Stabilité Biologique (ISB) (2) exprimé sur la matière sèche, quantité apportée définie pour fournir autant de MO stable potentielle que le fumier frais à 30 t/ha qui sert de référence.

La parcelle est cultivée dans le cadre d'une rotation légumière, avec 1 à 2 cultures par an (de 1995 à 2004 : laitue – navet – engrais vert (blé), poireau, laitue – navet – engrais vert (blé), poireau, carotte, chou – engrais vert (blé), laitue – épinard, blette, poireau, carotte).

- (1) Un rééquilibrage des éléments fertilisants est effectué chaque année afin de compenser les différences d'apport en P, K, Ca et Mg des amendements. Ce rééquilibrage s'effectue sur la base du produit le plus riche, avec une limite à 100 unités/ha/an pour la magnésie.
- (2) L'ISB exprime le potentiel de fourniture de matière organique stable d'un amendement. Il est calculé à partir de la composition biochimique établie par analyse du produit. Il est exprimé en pourcentage de la matière organique total du produit (Linères & Djakovitch, 1993).

Bilan des apports effectués

Les apports d'amendements sont effectués chaque année en sortie d'hiver avant la mise en place de la culture. La référence est le fumier de bovin frais à 30

t/ha/an, qui correspond à une pratique moyenne de la région, dans une limite maximum de 3 t/ha/an de carbone qui nous a amené certaines années (en fonction de la concentration du fumier en carbone) à apporter moins de 30 t/ha/an.

Au départ toutes les parcelles ont reçu la dose Equivalent Carbone. La différenciation des doses d'apport des amendements est intervenue à partir de 1999 afin d'établir un deuxième type de raisonnement de la dose d'apport, non plus basé sur la teneur en matière organique totale de l'amendement mais sur son potentiel de fourniture de matière organique stable. L'Indice de Stabilité Biologique (ISB), après avoir été validé par des essais complémentaires entre 1995 et 1998 (Le Bohec *et al.*, 1999), a été retenu pour calculer la dose d'apport de chacun des produits en équivalence de la matière organique stable fournie par les 30 t/ha/an de fumier frais (voir tableau 1).

Plusieurs paramètres ont évolué au cours du temps. L'origine d'approvisionnement du compost végétal a

changé en 1998, celle du compost d'écorce en 1999 à cause de l'arrêt de fabrication des produits initiaux mais ces "nouveaux" produits sont comparables aux

premiers tant leurs caractéristiques sont proches. Le rééquilibrage du calcium est effectif seulement depuis 1999.

Tableau 1 : Apports moyens annuels de 1995 à 2004

	Equivalent Carbone apporté par 30 t/ha de fumier		Equivalent Humus		
	tonne produit/ha/an	tonne carbone/ha/an	ISB sur MO moyen	MO stable produit (kg/ha) par le fumier	t produit/ha/an pour fournir autant d'humus que 30 t de fumier
Fumier frais	28,54	2,6	0,33	1,6	28,54
Fumier déshydraté	7,55	2,6	0,31	1,6	7,51
Compost vert	23,56	2,6	0,79	1,6	10,04
Compost écorce	23,90	2,6	0,48	1,6	15,27
C tourteau café	11,03	2,6	0,88	1,6	3,83
Témoin	/	/	/	/	/

Caractérisation des amendements

Les produits étudiés sont caractérisés *a priori*, par différentes analyses (tableau 2).

Tableau 2 : Caractéristiques analytiques des différents amendements

	Fumier frais	Fumier déshydraté	Compost vert	Compost écorce	C. tourteau café
ISB sur MO	0,33	0,31	0,79	0,48	0,88
C/N moyen	17	22	18	12	12
Granulométrie	Très grossière	Bouchons (0,7 x 1,5 cm)	Assez grossière	Assez fine	Fine
Valeur fertilisante :					
Azote	+	+	-	++	++
Autres éléments	+	+	+	++	++

Les écarts importants de valeur ISB entre produits permettent d'envisager des potentiels de fourniture en matière organique stable très différents. On distingue les produits stables (les 3 composts) et les produits plus fermentescibles (les fumiers).

Le C/N d'un produit ne caractérise pas forcément sa stabilité dans la mesure ou il peut être modifié artificiellement par enrichissement avec une matière riche en azote. C'est également de cette manière que l'on joue sur la valeur fertilisante de l'amendement.

Les granulométries des produits sont très variables, de fines à très grossières.

Les principaux résultats

Pour simplifier la présentation les résultats obtenus sont exprimés par une appréciation relative (+ ou -) au regard du Témoin.

L'ensemble des résultats ont été publiés dans le mémoire de Jean-François VIAN et Olivier DEMARLE "Effets de différentes sources organiques sur les propriétés d'un sol sableux argileux : 10 ans d'essai en culture légumière à la SERAIL (Brindas) (69)", ISARA-Lyon, SERAIL, octobre 2004.

Les effets comparés des différentes sources organiques sont présentés sur la base des résultats moyens prenant en compte les 2 doses d'apports, hormis pour le résultat sur carotte jugé sur la dose Equivalence en Carbone.

L'effet "TYPE DE MATIERE ORGANIQUE"

La forme de la racine de carotte a été utilisée comme indicateur de l'état de la structure du sol en 1999 et en 2004. L'effet MO sur les résultats de cette culture n'est perceptible qu'en conditions de travail de sol difficiles

comme se fut le cas lors de l'implantation de la culture de 1999. Les MO améliorent alors la résistance du sol aux dégradations liées au travail du sol en condition humide et assurent une amélioration d'autant plus significative du rendement commercial (racines bien formées) que la source organique utilisée a influé positivement sur le taux de matière organique (meilleurs résultats avec les composts par rapports aux fumiers). Lorsque les conditions de travail de sol sont excellentes (ce fut le cas en 2004) l'effet matière organique n'est plus perceptible et le rendement commercial est équivalent quelle que soit la modalité, y compris sur le témoin sans apport.

La carotte est donc un bon indicateur de l'état de la structure du sol à un moment donné mais ne permet pas de saisir des évolutions plus fines des propriétés du sol en conditions satisfaisantes de travail du sol.

Pour saisir ces évolutions, différents paramètres du sol ont été étudiés, en commençant par l'évolution du statut organique avant de s'intéresser à son fonctionnement.

Les produits agissent différemment sur le statut organique du sol. La stabilité de l'amendement, caractérisée par son ISB, est en relation avec sa capacité à augmenter le taux de MO total du sol (Corg total ou Matières organiques Totalement Oxydables de la méthode Hérody). Les produits à ISB élevé augmentent plus la teneur en Corg total que les produits à ISB plus faible, sauf pour le tourteau de café qui a un comportement atypique, mal caractérisé par l'ISB (certains composés ne seraient pas attaqués lors de l'analyse ISB, entraînant ainsi une valeur d'indice artificiellement élevée).

Par ailleurs, les produits ne génèrent pas les mêmes fractions de matière organique dans le sol (MO

particulaire fine peu associée à la matière minérale du sol, MO particulaire grossière ou "libre", MO humifiée fortement associée à la matière minérale du sol). Le fumier frais alimente de façon presque équivalente les 3 fractions alors que le fumier déshydraté augmente plus la fraction humifiée. Les composts végétaux jouent sur les fractions fines et humifiées alors que le tourteau de café confirme son comportement atypique en alimentant de façon prépondérante la fraction grossière. Les analyses Hérody montrent les mêmes tendances et apportent une information complémentaire sur une fraction de matière organique dite insolubilisée. Cette fraction ni humifiée ni minéralisée (Nini) ne présenterait pas d'intérêt en terme de fertilité. Elle augmente fortement avec les produits les plus stables (composts végétaux) et pourrait sur le long terme concurrencer la culture car les microorganismes consomment de l'azote pour la dégrader.

Les changements observés dans le statut organique du sol (teneur et formes de la MO) peuvent influencer son fonctionnement. Nous nous sommes donc intéressés aux propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol.

Les modifications de la composante chimique ont été approchées par la mesure du pH eau et celle de la CEC Metson. Le fumier frais a classiquement un effet légèrement acidifiant alors que le fumier déshydraté est neutre. Les composts sont d'autant plus alcalinisants qu'ils sont riches en calcium. En 10 années d'apports l'augmentation de pH est marquée avec les 2 composts végétaux (+ 0,5 à 0,6 point).

L'augmentation de la CEC est en relation directe avec l'augmentation de la teneur en MO du sol, et donc plus marquée avec les produits les plus stables, notamment ceux qui alimentent le compartiment humifié de la MO du sol (compost vert et compost d'écorce).

Les produits agissent également sur les propriétés physiques du sol. Les états structuraux observés par des profils de sol à 3 périodes de la campagne ne sont pas différents, et confirment ainsi les observations faites sur la qualité des racines de carotte.

Le type de MO influe par contre sur la stabilité structurale (Test Le Bissonnais), et ceci de façon plus ou moins marquée selon que l'on se situe plus ou moins près de la date d'épandage. Le compost vert et le compost de tourteau de café améliorent légèrement la stabilité structurale à "long" terme (11 mois après l'apport) (+ 16 et + 14,5 % respectivement par rapport au témoin) tandis que l'effet du fumier frais ne semble pas perdurer au-delà d'une année culturale (identique au témoin en sortie d'hiver). Par contre, le fumier frais a un effet stabilisant supérieur aux autres produits juste après l'épandage (1 mois après apport), il améliore la stabilité structurale de 20 % par rapport au témoin tandis que le compost vert ne l'augmente que de 10 % et l'effet du compost de tourteau est peu marqué après épandage.

L'apport de MO améliore également la résistance au tassement (Tests oedométriques), de façon un peu plus marquée avec les composts qu'avec le fumier

frais. La résistance du sol au tassement est d'autant plus améliorée que les composts alimentent la fraction des MO particulières grossières du sol.

Les propriétés hydriques du sol (circulation et rétention) sont également globalement améliorées, et de façon sensiblement plus marquées avec le compost d'écorce.

Sur le plan des propriétés biologiques du sol, tous les produits augmentent globalement la biomasse microbienne et son activité. Comme sur d'autres paramètres physiques et chimiques on peut différencier l'effet des produits sur les paramètres biologiques en fonction de leur stabilité. Les produits stables (ISB élevé) alimentent plus le stock de la MO du sol que la biomasse microbienne et ses activités (respiration et minéralisation), mis à part le cas particulier du compost de tourteau de café qui semble être composé d'une fraction facilement utilisable par les microorganismes.

L'effet "DOSE D'APPORT"

La différenciation de dose est basée sur la stabilité des produits (doses d'apport calculées en fonction de l'ISB) pour atteindre l'équivalence en MO potentiellement stable de 30 tonnes de fumier frais. Les doses EqC et EqH sont donc équivalentes pour la modalité fumier frais et très proches pour la modalité fumier déshydraté.

Sur carotte en 1999, 1^{ère} année de différenciation des 2 doses d'apport, le rendement commercialisable (racines bien formées) est légèrement favorable à la dose forte (EqC), peut-être à cause des effets court terme des MO observés sur certaines propriétés physiques du sol (voir effet produit), lesquels auraient été plus marqués avec la dose d'apport élevée en conditions de préparation de sol difficiles.

Par contre, en 2004, l'effet dose n'est pas perceptible dans de bonnes conditions de préparation de sol, après 5 ans de différenciation.

La dose d'apport influe sur le statut organique du sol. Les analyses classiques montrent que la dose forte d'apport (Eq Carbone) augmente plus le taux de MO total.

Les analyses BRDA-Hérody indiquent les mêmes tendances générales mais font apparaître des différences de comportement en fonction du produit.

La dose forte (EqC) des composts végétaux augmente moins les Matières Totales Oxydables (MTO) que la dose faible (EqH), alors qu'il n'y a pas de différences pour le compost de tourteaux de café et le fumier frais.

La fraction fermentescible augmente plus avec la dose faible alors que la fraction humifiée augmente plus avec la dose forte, pour tous les produits hormis le fumier déshydraté.

La dose faible des composts tend à augmenter de façon plus marquée la 3^{ème} fraction (qui correspond à un niveau d'activité biologique du sol).

L'accumulation de la fraction insoluble de la MO (Nini) est plus marquée à dose forte, surtout avec le compost vert et le compost d'écorce.

Certaines différences de comportement entre EqC et EqH pour le fumier déshydraté sont difficilement explicables vu le faible écart de dose entre les 2 modalités.

L'effet "DOSE" sur les propriétés chimiques, physiques et biologiques du sol est globalement encore peu marqué après 5 années d'apports différenciés. Toutefois, la réduction des doses d'apport pour les composts d'écorce et de déchets verts a un impact sur le comportement physique du sol notamment (la résistance du sol aux désagréments par l'eau est moindre à dose faible) et les propriétés biologiques où l'on constate que la dose forte génère globalement une augmentation plus importante de la biomasse microbienne et de ses activités.

Conclusions

Dans le contexte pédoclimatique de l'essai on remarque que l'évolution des propriétés agronomiques est longue à se dessiner. Après 10 années, le témoin sans apport ne se différencie pas systématiquement des parcelles amendées sur le plan des résultats culturaux lorsque les conditions de travail de sol sont satisfaisantes, alors que les apports organiques influent positivement sur la récolte en conditions limitantes (travail du sol en condition humide). Des critères d'observations fins permettent cependant de discriminer les modalités étudiées quelle que soit la situation.

Les paramètres mesurés permettent de distinguer 3 groupes de produits organiques :

- des produits stables : compost de déchets verts et compost d'écorce ;
- des produits décomposables : fumier frais et fumier déshydraté ;
- un produit particulier : le compost de tourteaux de café.

Chaque typologie de produit agit de façon spécifique sur les propriétés du sol en question.

La comparaison de deux doses d'apport (Equivalence en Carbone et Equivalence en MO stable) depuis 5 ans fait apparaître que la réduction des doses des composts ralentit l'évolution du statut organique du sol (taux de MO) et limite les phénomènes d'accumulation. Elle ralentit également les processus d'amélioration de certaines propriétés étudiées (stabilité structurale, biomasse microbienne).

Mais la différenciation des doses est trop récente pour générer des écarts importants et en tirer des conclusions plus complètes.

Le bilan de l'année 2004 fait suite et complète les études précédentes (notamment étude des propriétés physiques du sol en 1999 et étude des Eléments Traces Métalliques en 2001). L'ensemble des résultats obtenus nous permet de faire quelques préconisations pour les maraîchers, quant au choix d'un amendement et de la

dose d'apport en fonction des objectifs à atteindre et des caractéristiques des produits.

Le choix de la MO à utiliser dépend du contexte et des contraintes que le producteur doit surmonter :

- les composts d'écorce et de déchets verts ont un effet alcalinisant intéressant et augmentent plus que les autres modalités la densité de charge de la CEC du sol ;
- les composts ont un effet fort et durable sur l'agrégation et le comportement mécanique du sol ;
- les fumiers, en stimulant en quantité et en activité la biomasse microbienne du sol, améliorent ces mêmes propriétés mais leur effet ne semble pas durer au delà d'une année culturale.

Quel que soit le produit utilisé, la dose d'entretien, variable selon le type de sol et son statut organique, peut être calculée à partir de l'ISB et des pertes annuelles.

Les résultats présentés ont été obtenus dans le contexte particulier de l'essai. Toute généralisation sur le comportement de ces produits est délicate en dehors de ce contexte. Seul le suivi d'un réseau de parcelles aux conditions pédoclimatiques différentes pourrait venir préciser à moyen terme le comportement des produits. Il nous paraît cependant nécessaire d'élargir la réflexion sur l'utilisation des ces amendements organiques avec les indications qui suivent :

Les fumiers de bovins, qu'ils soient utilisés frais ou déshydratés, devraient être apportés annuellement, à une dose d'entretien que l'on pourrait situer entre 20 et 40 t/ha/an de fumier frais ou entre 5 et 10 t de fumier déshydraté selon la situation. Ils ont pour objectif d'améliorer la réactivité du sol par effet fertilisant direct et indirect par stimulation de la biomasse microbienne. Ils sont utilisables dans tous type de sol pour l'entretien régulier de la fertilité globale.

Les composts végétaux (déchets verts, bois, écorce, ...) pourront être apportés annuellement, voir tous les 2 ou 3 ans. La dose d'entretien pourra être limitée par l'effet alcalinisant de certains produits, par la concentration en Eléments Traces Métalliques (respect des flux maximum autorisés) et les risques d'accumulation de matière organique inerte. Elle se situera généralement autour de 10 à 20 t/ha/an. Les risques "d'indigestion" liés à des apports massifs (supérieurs à 25 - 30 tonnes) en une fois sont difficiles à évaluer car certainement variables en fonction du type de sol. Cependant de tels produits à forte dose peuvent engendrer la réorganisation de l'azote et des effets négatifs sur l'activité biologique. Ces composts vont jouer sur les effets durables de la MO, principalement sur les propriétés physiques (stabilité structurale, résistance au tassement, rétention en eau), ainsi que sur la CEC et le pH du sol. Ils seront utilisés comme produit principal pour des sols ayant des propriétés physiques dégradées, toujours sous forme de composts mûrs, de préférence tamisés assez finement.

En cas d'apport tous les 2 ou 3 ans aux doses indiquées, et pour éviter les risques d'accumulation, il serait intéressant de les associer à d'autres sources organiques plus fermentescibles (fumier ou compost de fumier jeune, incorporation d'engrais verts) apportées annuellement.

Le compost de tourteaux de café pourrait être recommandé en apport annuel à la dose de 3 à 5 t/ha/an, dans l'objectif d'agir sur les effets à court terme (annuels) de la MO, effet fertilisant, résistance au tassement après l'apport. On agira ainsi sur la nutrition des cultures et sur l'amélioration lente et régulière des propriétés physiques du sol, avec ce produit à double effet (fertilisation et entretien de la fertilité globale) pour l'entretien de sols à niveau de fertilité satisfaisant.

Sur le plan de la méthodologie d'expérimentation les travaux conduits en 2004 nous permettent de préciser l'utilisation des paramètres expérimentaux étudiés pour mieux connaître les amendements organiques et estimer les effets d'une source nouvelle d'amendement. Une meilleure connaissance *a priori* est apportée par l'origine et l'ISB du produit, à court terme (quelques

mois à 1 an) par la mesure de la biomasse et de l'activité microbienne (comparativement à un témoin), à moyen terme (3 ans) par les fractions de MO générées dans le sol, et à long terme (au-delà de 10 ans) par l'évaluation des propriétés physiques et chimiques du sol.

Les suites à donner : bien des questions restent encore en suspens et les responsables professionnels de la SERAIL ont fait le choix de poursuivre l'expérimentation en cours pour apprécier la persistance et l'évolution des améliorations enregistrées, appréhender les phénomènes d'accumulation de MO dans le sol (notion de seuil, impact de l'insolubilisation, ...), évaluer l'effet de la dose « humus » (effet qualitatif des produits à statut organique équivalent), et mieux connaître les différents produits.

Il serait également intéressant de pouvoir utiliser les résultats obtenus pour acquérir des références régionales dans différents contextes pédoclimatiques permettant d'étayer les préconisations d'utilisation.

Pour en savoir plus

DEMARLE O. et VIAN J.F. : Effets de différentes sources organiques sur les propriétés d'un sol sableux argileux – 10 ans d'essai en culture légumière à la SERAIL, mémoire de fin d'étude ISARA-Lyon 2004

BALESDENT J. 1996. The significance of organics separate to carbon dynamics and its modelling in some cultivated soils. *European journal of soil science*. 47 : 485-493

BALESDENT J. 1997. La matière organique des sols : questions, concepts, méthodologie. 2 : dynamique du carbone. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*. Volume 83(6). p 99 à 110.

BERRY D., THICOÏPE JP. 2001. Les amendements organiques : Premier bilan des effets fertilisants. *Infos-ctiff*. n° 171. p 34 à 37.

BERRY D., THICOÏPE JP., NOUAIM R., CHAUSSOD R. 2003. Les amendements organiques en culture légumière : Influence sur l'activité biologique des sols. *Infos-ctiff*. n° 190. p 50 à 53.

CHAUSSOD R., NOUAIM R. 2001. Matières organiques et activités biologiques des sols cultivés. Des indicateurs d'intérêt agronomique. *Perspectives Agricoles*. n° 272. p 46 à 48.

CHENU C., BALABANE M. 2001. Matières organiques et activités biologiques des sols cultivés. Une approche des matières organiques par leur fonctionnement. *Perspectives Agricoles*. n° 272. p 42 à 45.

CHEVERRY, C. PERES, G. GAUTRONNEAU, Y. SYLVANDER, B. (coord.). 2003. L'approche « Hérody-BRDA de connaissances des sols » : échanges scientifiques. *INRA-CIAB : Le Mans*. 40 p.

DECOOPMAN B. (coord.). 2002. Qualification d'amendements organiques pour les zones légumières du Nord Bretagne : rapport final. *Chambre régionale d'Agriculture de Bretagne*. 108 p.

DECROUX J., IGNAZI JC. (éd). 1993. Matières organiques et agriculture. *Actes des 4^{èmes} journées de l'analyse de terre GEMAS et 5^{ème} forum de la fertilisation raisonnée*. GEMAS et COMIFER : Blois. 178 p.

DRIDI B., TOUMI C. 1999. Influence d'amendements organiques et d'apport de boues sur les propriétés d'un sol cultivé. *Etude et Gestion des Sols*. Volume 6(1). p 7 à 14.

FELLER C. 1997. La matière organique des sols : aspects historique et état des conceptions actuelles. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture Française*. Volume 83(6). p 85 à 98.

GAVINELLI E., FELLER C., LARRE-LAROUY M.C., BACYE B., DJEGUI N. et J. de D. NZILA J. 1995. A routine method to study soil organic matter by particle-size fractionation : examples for tropical soils. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal*. 26(11&12), 1749-1760.

GERZABEK M.H., HABERHAUER G., KIRCHMANN H. 2001. Soil organic matter pools and carbon-13 natural abundance in

particle-size fraction of a long term agricultural field experiment receiving organic amendment. *Soil Science Society of America*. Volume 65. p 352 à 358.

HERODY Y. 1997. *Connaissance du sol, tome 1 : le modèle de base*. BRDA édition : Charency. 118 p.

HOUOT S., FRANCOU C., VERGE-LEVIEL C., MICHELIN J., BOURGEOIS S., LINERES M., MOREL P., PARNAUDEAU V., LE BISSONNAIS Y., DIGNAC MF., DUMAT C., CHEIAB A., POITRENAUD M. 2003. Valeur agronomique et impacts environnementaux de composts d'origine urbaine : variation avec la nature du compost. p 107 à 123. In. TERCE N. (coord.). 2003. *AGREDE : Agriculture et épandage de déchets urbains et agro-industriels*. Les dossiers de l'environnement de l'INRA. n°25. INRA : Paris. 154 p. ISBN 2-7380-115-9

JOUBE B. 1999. Evaluation des effets d'amendements organiques sur certaines propriétés physiques de sols maraîchers : suivi de l'expérimentation de la SERAIL. *Mémoire de fin d'étude ISARA-Lyon*. 85 p.

JOUBE B., BERRY D., GAUTRONNEAU Y., ROGER-ESTRADE J., ROBIN P., RICHARD G., THICOÏPE JP. 2000. Fertilité d'un sol maraîcher : une étude de la SERAIL. *Infos-ctiff*. n°162. p 36 à 41.

LE BOHEC J., BERRY D., LINERES M., LEMAIRE F., FOUYER L., PAIN M., THICOÏPE JP. 1999. Amendements organiques : Pourrait-on les juger rapidement ? *Infos-ctiff*. n° 151. p 32 à 35.

LINERES M., DJAKOVITCH J.L. 1993. Caractérisation de la stabilité biologique des apports organiques par l'analyse biochimique. p 159 à 168. In DECROUX, S. IGNAZI, J.C. (éds). 1993. *Matière organique et agriculture. Actes des 4^{èmes} journées d'analyse de terre GEMAS et 5^{ème} forum de la fertilisation raisonnée*. GEMAS : Blois. 178 p.

LOVELAND P., WEBB J. 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review. *Soil & Tillage research*. n° 70. p. 1 à 18.

MARY B., GUERIF J. 1994. Intérêts et limites des modèles de prévision de l'évolution des matières organiques dans le sol. *Cahiers de l'agriculture*. Volume 3. p 247 à 257.

COURTS K., VANLAUWE B., MERCKX R. 2003. Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Volume 100. p 161 à 171.

PERNES-DEBUYSER A. 2003. *Différenciation* des propriétés du sol pas des apports d'engrais et d'amendements : cas de l'essai de longue durée des 42 parcelles (Versailles). *Thèse environnement et agronomie : université de Bourgogne*. 150 p.

PUGET P., BESNARD E. et CHENU C. 1996. Une méthode de fractionnement des matières particulières des sols en fonction de leur localisation dans les agrégats. *C.R. Acad. Sci. Paris*, t. 322, série II a, p 965 à 972.

